

УДК 622.831.327

Рассказов Максим Игоревич

научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000 г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: rasm.max@mail.ru

Терешкин Андрей Александрович

научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН

Цой Денис Игоревич

научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
МАССИВА МЕСТОРОЖДЕНИЯ
«ПИОНЕР» НА ОСНОВЕ
АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО
ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ГОРНЫХ ПОРОД***Аннотация:*

Приведены результаты исследований по оценке напряженно-деформированного состояния массива горных пород золоторудного месторождения «Пионер» с применением метода, основанного на акустико-эмиссионном эффекте памяти. Последний базируется на проявлении акустической эмиссии при нагружении образцов усилием, превышающим максимальные напряжения, при которых данный образец находился в условиях естественного залегания. Для проведения испытания был использован пресс ToniPACT II, обеспечивающий постоянную скорость деформирования образца 1,5 кН/с, а также портативный прибор локального контроля «Prognoz L» для регистрации параметров акустической эмиссии. В результате исследований были получены зависимости, характеризующие изменения параметров акустической эмиссии при увеличении нагрузки. Анализ зависимостей подтвердил эффект Кайзера, который проявляется в 30 % исследуемых образцов (преимущественно в диоритах и метасоматитах).

Ключевые слова: эффект памяти, акустическая эмиссия, скорость деформирования, образцы керна, напряженное состояние, тектоническая нарушенность

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.062

Rasskazov Maksim I.

Researcher, Institute of Mining, FEB RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
email: rasm.max@mail.ru

Tereshkin Andrey A.

Researcher,
Institute of Mining, FEB RAS

Tsoy Denis I.

Researcher,
Institute of Mining, FEB RAS

**ASSESSMENT OF STRESSED STATE
OF ROCK MASS OF THE DEPOSIT
PIONEER ON THE BASIS
OF ACOUSTIC-EMISSION EFFECT
OF ROCK MEMORY***Abstract:*

The paper has presented the results of studies on the assessment of the stress-deformed state of the rock mass of the gold ore deposit Pioneer using the method based on the acoustic-emission memory effect. The latter is based on the manifestation of acoustic emission when loading the samples by force exceeding the maximum stresses at which the sample was in conditions of natural occurrence. The ToniPACT II press was used to carry out the test, providing a constant rate of deformation of the sample 1.5 kN/s, as well as the portable device of local control Prognoz L for registration of parameters of acoustic emission. The studies have resulted in obtaining the correlations characterizing the changes in acoustic emission parameters with increased load. The analysis of the correlations has confirmed the Kaiser effect, which is manifested in 30% of the studied samples (mainly in diorite and metasomatites).

Key words: memory effect, acoustic emission, deformation rate, core samples, stressed state, tectonic dislocation

Введение

Перспективы освоения золоторудного месторождения «Пионер», расположенного на территории Амурской области в Зейском районе, в основном связаны с переходом с открытого на подземный способ разработки. Для обоснования эффективных проектных решений по вскрытию и отработке нижней части этого месторождения необходима надежная геомеханическая информация, в первую очередь, о параметрах напряженно-деформированного состояния горного массива и физико-механических свойствах, слагающих его горных пород.

Анализ геодинамической позиции месторождения «Пионер» в современной структуре Амурской плиты показал, что оно приурочено к области сжатия со сдвигом, в пределах которой находятся также известные Березитовое и Хинганское месторождения [1]. По результатам морфометрического анализа рельефа по данным спутниковой геодезии и материалов сейсмических исследований установлено, что для района месторождения в целом характерен режим сжатия и вектор современного главного горизонтального сжатия на объекте направлен на ЮЗЗ. Детальные исследования физико-механических свойств горных пород месторождения показали, что к прочным породам (предел прочности на одноосное сжатие находится в пределах от 99,9 до 183,4 МПа) и высокоупругим (модуль Юнга лежит в диапазоне 56,2– 61,9 ГПа) относится группа флюидолитов пелитовых, мелкопорфировые диориты и гранодиорит-порфиры. Остальные горные породы, слагающие массив, являются более мягкими и характеризуются средними значениями предела прочности на сжатие (до 86 МПа) [2].

Для оценки напряженного состояния также использовался метод, основанный на известном эффекте Кайзера, согласно которому горные породы обладают способностью запоминать, хранить и воспроизводить информацию об испытанных напряжениях [3, 4]. Акустоэмиссионный эффект памяти (эффект Кайзера) наблюдается при циклическом нагружении горных пород с возрастающей от цикла к циклу амплитудой напряжения [5 - 10]. Эффект заключается в невозможности акустической эмиссии (АЭ) вплоть до максимального напряжения предшествующего цикла σ_m , когда параметры АЭ скачкообразно восстанавливаются до уровня, соответствующего этому максимальному напряжению (рис. 1). В качестве таких параметров могут выступать активность, интенсивность или b – параметр эмиссии. При напряжениях, меньших максимально достигнутых в предыдущих циклах, активность АЭ близка к фоновой, а b – параметр, характеризующий энергетическое распределение сигналов АЭ, – обладает более высокими значениями по сравнению с предыдущим циклом нагружения. Возрастание напряжения σ_m сопровождается скачкообразным увеличением активности АЭ и уменьшением b – параметра до значений, характерных для предшествующего цикла нагружения.

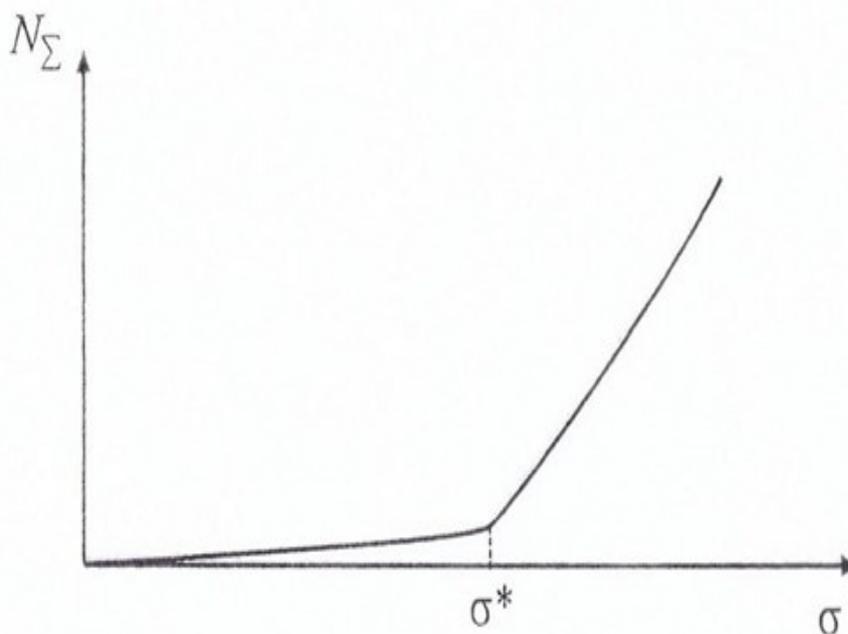


Рис. 1 – Проявление эффекта памяти, характеризующегося резким ростом акустической активности пород при достижении нагрузки σ :
 σ – нагрузка; σ^* – уровень максимальных напряжений предшествующего цикла нагружения

Для оценки величин главных напряжений и их направлений необходима информация об ориентировке образцов в пространстве. Причем необходимо изготавливать образцы, имеющие оси разнонаправленные, охватывающие 180° с шагом $5 - 10^\circ$ только для одной плоскости. А таких плоскостей должно быть несколько. Такая трудоемкость затрудняет использование эффекта Кайзера в практике горного дела.

В ряде случаев для более однозначной интерпретации результатов контроля напряжений на основе акустико-эмиссионного эффекта памяти совместно с ним используется деформационный эффект памяти. В общем случае этот эффект заключается в ряде характерных изменений деформационных свойств и параметров деформирования при нагрузке, достигнувшем максимального значения, действовавшего в предшествующем цикле [11].

Результаты и методы исследования

Для испытаний были взяты образцы керна, имеющие отношение высоты к диаметру $h/d = 2,0 \div 3,0$, изготовленные из кернов с параллельными торцами. Образцы были поделены по породам на две группы:

- 1) микродиориты темно-серые до черных;
- 2) кварц-полевошпатовые метасоматиты.

Для проведения испытания был использован пресс ToniРАСТ II, обеспечивающий постоянную скорость деформирования образца $1,5 \text{ кН/с}$, а также портативный прибор локального контроля «Prognoz L» для регистрации параметров АЭ (рис. 2).



Рис. 2 – Оборудование, применяемое для проведения эксперимента

Портативный прибор для локального контроля удароопасности «PrognozL» позволяет регистрировать большое число параметров АЭ и ряд дополнительных показателей, осуществлять обработку и детальный анализ полученной информации, имеет возможность автоматизированной настройки и выбора режима измерения в различной шумовой обстановке для проведения лабораторных исследований [12 – 13].

В результате исследований были получены зависимости суммы импульсов АЭ от нагрузки (рис. 3).

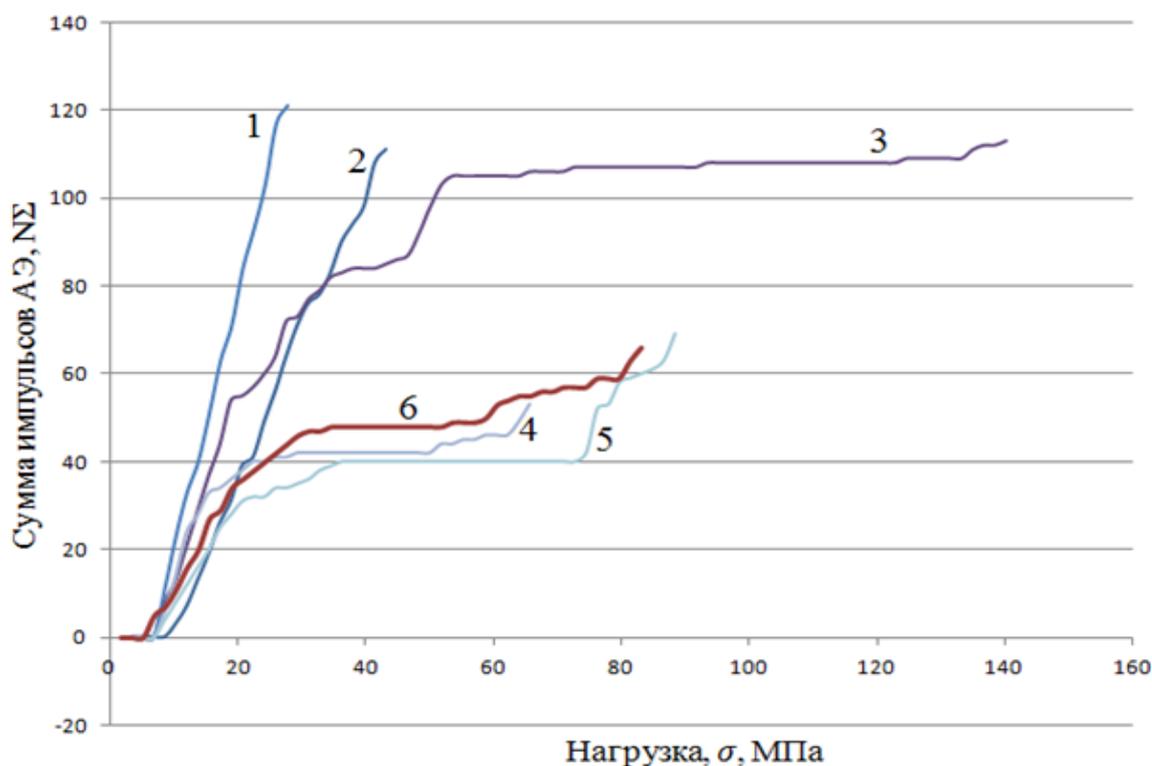


Рис. 3 – Графики изменения параметров АЭ в зависимости от нагрузки на испытанные образцы горных пород, отобранные на глубине: 1 – 167,3 м; 2 – 223,5 м; 3 – 222,4 м; 4 – 180 м; 5 – 185,7 м; 6 – 200,5 м (глубина отбора образцов с учетом первоначального рельефа земной поверхности до отработки месторождения)

При одноосном сжатии породы, ранее испытывавшей трехосное нагружение, эффекты памяти имеют место при отклонении оси одноосного сжатия от направления максимального действовавшего ранее главного напряжения не более чем на $5 - 10^\circ$.

Это обстоятельство лежит в основе определения направления главных напряжений по результатам лабораторных испытаний серии образцов, ориентированных в различных направлениях.

В образцах, отобранных из скважин 506-1 и 500-2 на глубинах 167,3 м, 223,5 м, 222,4 м, 185,7 м, 180 м (микродиориты темно-серые до черных) и 200,5 м (кварц-полевошпатовые метасоматиты), проявляется эффект Кайзера при достижении нагрузки $\sigma_k = 7,5 - 8,6$ МПа (табл. 1). При нагружении этих образцов наблюдается резкий рост количества импульсов АЭ. В образцах другой группы эффект Кайзера при одноосном сжатии отсутствует.

Напряжение (в МПа), действующее на образец на определенной глубине σ_0 , определяется из выражения

$$\sigma_0 = \rho gh,$$

где ρ – плотность пород, кг/м³ ($\rho = 2665,6$ кг/м³ для микродиоритов темно-серых до черных, $\rho = 2653,4$ кг/м³ для кварц-полевошпатовых метасоматитов); g – ускорение свободного падения, м/с² ($g = 9,8$ м/с²); h – глубина отбора образца, м.

Таблица 1

Результаты испытания образцов, в которых проявился эффект Кайзера

№ образца	Горные породы	Глубина отбора пробы, м	Фактическая глубина с учетом отработанной верхней части месторождения, м	σ_k , МПа	σ_0 , МПа
1	Диориты темно-серые до черных	27,3	167,3	8,3	4,4
2		83,5	223,5	8,3	5,8
3		82,4	222,4	7,5	5,8
4		40	180	8,6	4,7
5		45,7	185,7	8,3	4,9
6	Кварц-полевошпатовые метасоматиты	60,5	200,5	8,3	5,2

Напряжения σ_k в образцах горных пород были получены в ходе лабораторных испытаний, а напряжения σ_0 – расчетным путем. Величина действующих напряжений в массиве на исследуемых глубинах несколько выше рассчитанной по известной формуле В.Н. Динника.

Выводы

В данной работе были проведены исследования по оценке напряженно-деформированного состояния массива горных пород на золоторудном месторождении «Пионер» с применением метода, основанного на акустико-эмиссионном эффекте памяти. Для проведения испытаний был успешно использован портативный прибор локального контроля «Prognoz L», что позволило получить зависимости, характеризующие изменения параметров акустической эмиссии при увеличении нагрузки. В целом по результатам исследований установлено, что из 20-ти испытуемых образцов горных пород эффект Кайзера проявляется в 30 % случаев (преимущественно в диоритах и метасоматитах), отобранных на глубине более 150 м (с учетом первоначального рельефа земной поверхности до отработки месторождения), в которых разброс между измеренным и расчетным значением σ_k к σ_0 не превышает 30 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что напряженное состояние на глубинах отбора образцов близко к гидростатическому, обусловленному весом вышележащей толщи пород.

Литература

1. Саксин Б.Г. Принципы комплексного изучения современного напряженно-деформированного состояния верхних уровней земной коры Амурской литосферной плиты / Б.Г. Саксин, И.Ю. Рассказов, Б.Ф. Шевченко // ФТПРПИ. – 2015. – № 2. – С. 53 - 66.
2. Геомеханическое обоснование комбинированной отработки золоторудного месторождения Пионер / И.Ю. Рассказов, В.Г. Крюков, Б.Г. Саксин, М.И. Потапчук // Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера: Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 11 (специальный выпуск 24). – С. 7 - 15.
3. Лавров А.В. Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах / А.В. Лавров, В.Л. Шкурятник, Ю.Л. Филимонов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 456 с.

4. Шкуратник В.Л. Эффекты памяти в горных породах. Физические закономерности, теоретические модели / В.Л. Шкуратник, А.В. Лавров. – М.: Издательство Академии горных наук, 1997. – 159 с.
5. Kaiser J. Erkenntnisse und Folgerungen aus der Messung von Gerauschen bei Zugbeanspruchung von metallischen Werkstoffen // Archiv fur das Eisenhüttenwesen. – 1953. – Vol. 24. – No. 1/2. – P. 43 - 45.
6. Ржевский В.В. Эмиссионные эффекты «памяти» в горных породах / В.В.Ржевский, В.С. Ямщиков, В.Л. Шкуратник // Доклады АН СССР. – 1983. – Т. 273. – № 5. – С.1094 - 1097.
7. Kanagawa T. Hayashi M. Nakasa H. Estimation of spatikal geo-stress components in rock samples using the Kaiser effect // Centr. Res. Inst, of Electric Power Ind. (CRIEPI) Report No. 37 5017. – Abiko, Japan, 1976.
8. Yoshikawa S., Mogi K. A new method for estimation of the crustal stress from cored rock samples: laboratory study in the case of uniaxial compression // Tectonophysics. 1981. – Vol. 74. – No. 3/4. – P. 323 - 339.
9. Петровский М.А. Экспериментальное исследование эффекта Кайзера в горных породах / М.А. Петровский, Л.Л. Панасьян // Вестник МГУ. - Сер. 4. Геология. – 1983. – № 3. – С. 98 - 101.
10. Ямщиков В.С. Измерение напряжений в массиве горных пород на основе эмиссионных эффектов памяти / В.С. Ямщиков, В.Л. Шкуратник, К.Г. Лыков // ФТПРПИ. – 1990. – № 2. – С. 23 - 28.
11. Шкуратник В.Л. Методы определения напряжённно-деформированного состояния массива горных пород: Учебное пособие / В.Л. Шкуратник, П.В. Николенко. – М.: МГГУ, 2012. – 113 с.
12. Assessment of burst-hazard rock massif by geoacoustic method / А.А. Tereshkin, М.И. Rasskazov // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses (EUROCK2018): Proceedings of the 2018 european rock mechanics symposium (May 22-26, 2018, Saint-Petersburg). – Saint-Petersburg. – 2018. – Vol. 2. – P. 1627 - 1632.
13. Оценка геомеханического состояния удароопасного массива горных пород по данным локального геоакустического контроля / А.А. Терёшкин, Д.С. Мигунов, П.А. Аникин, А.В. Гладырь, М.И. Рассказов // Проблемы недропользования. - 2017. - № 1. – С. 72 - 80. DOI: 10.18454/2313 – 1586.2017.01.072