

## Эффект Кайзера в осадочных горных породах на примере отложений Вертолетной площади Томской области

*С. С. Цветков<sup>1,2\*</sup>, Ю. И. Колесников<sup>2</sup>, Д. К. Жарасбаева<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup> АО «Геологика», г. Новосибирск, Российская Федерация  
\* e-mail: tsvetkovsereja@gmail.com

**Аннотация.** Открытый в 1953 году немецким ученым Джозефом Кайзером акустоэмиссионный эффект памяти (эффект Кайзера) широко применяется, как один из методов неразрушающего контроля материалов. Также по данным акустической эмиссии можно оценить уровень напряжений, которые испытывали горные породы в пластовых условиях. В данной работе рассматриваются результаты регистрации акустической эмиссии в образцах осадочных пород мезозойской части разреза Западной Сибири. Изучение особенностей проявления сигналов акустической эмиссии проводилось на основных литологических разностях (песчаник среднезернистый, аргиллит, алевролит, песчаник с карбонатным цементом). Всего было проанализировано 43 образца при одноосном нагружении и 1 образец при псевдотрехосном нагружении. Результатом исследования являются графики зависимости суммарного количества сигналов акустической эмиссии от напряжения. Определена зависимость количества сигналов акустической эмиссии от группы осадочных горных пород.

**Ключевые слова:** Эффект Кайзера, акустическая эмиссия, осадочные горные породы

## The Kaiser effect in sedimentary rocks on the example of deposits of the Vertoletnaya area in Tomsk region

*S. S. Tsvetkov<sup>1,2\*</sup>, Yu. I. Kolesnikov<sup>2</sup>, D. K. Zharasbaeva<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup> JSC «Geologika», Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: tsvetkovsereja@gmail.com

**Abstract.** The acoustic emission memory effect (Kaiser effect) discovered in 1953 by the German scientist Joseph Kaiser is widely used as one of the methods of non-destructive testing of materials. In addition, according to acoustic emission data, it is possible to estimate the level of stresses experienced by rocks in reservoir conditions. In this paper, we consider the results of recording acoustic emission in sedimentary rock samples from the Mesozoic part of the section of Western Siberia. The studying features of the manifestation of acoustic emission signals was carried out on the main lithological varieties (medium-grained sandstone, mudstone, siltstone, sandstone with carbonate cement). In total, 43 samples were analyzed under uniaxial loading and 1 sample under pseudo-triaxial loading. The results of the study are graphs of the dependence of the total number of acoustic emission signals from the stress. The dependence of the number of acoustic emission signals on the group of sedimentary rocks is determined.

**Keywords:** Kaiser effect, acoustic emission, sedimentary rocks

## Введение

В 1953 г. Джозеф Кайзер, осуществляя циклические испытания металлов, обнаружил, что акустическая эмиссия (АЭ) отсутствует до тех пор, пока не превышен уровень нагрузки, достигнутой в предыдущем цикле (рис. 1). Эффект Кайзера выражается в сохранении активности акустической эмиссии на уровне фона при нагружении материала вплоть до максимального напряжения, действовавшего в прошлом, при достижении которого данный параметр скачкообразно увеличивается. Данный эффект памяти горных пород стал интересным объектом для исследований напряжений в пластовых условиях. Первые попытки использования эффекта Кайзера для определения естественного поля напряжений в массиве горных пород были предприняты японскими исследователями Куритой и Фуджии [1]. Использование эффекта Кайзера в горных породах для определения напряжений осложняется такими факторами, как влияние времени между циклами нагружения, влажность, сложность определения момента наступления эффекта Кайзера, скорость нагружения и т.д. Таким образом, несмотря на кажущуюся простоту и привлекательность данной концепции, метод находится все еще в стадии разработки и пока далек от самостоятельного применения [2].

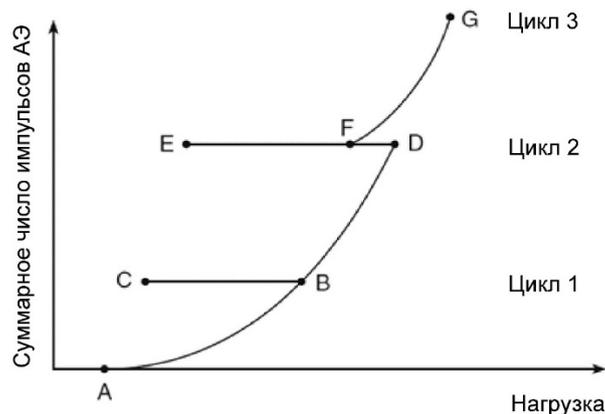


Рис. 1. Количество сигналов акустической эмиссии в зависимости от нагрузки для трех циклов нагружения [3]

В данной работе представлены результаты лабораторных исследований по регистрации сигналов акустической эмиссии на деформируемых образцах осадочных горных пород. Проведена обработка сигналов акустической эмиссии с использованием специального программного обеспечения. Получены выводы относительно зависимости интенсивности сигналов акустической эмиссии от состава горных пород.

## Методы и материалы

На регистрацию сигналов акустической эмиссии оказывают влияние множество факторов (влияние времени между циклами нагружения, влажность, скорость нагружения и т.д.), причем с разной степенью интенсивности. Большую

работу по выявлению влияния различных факторов на интенсивность акустической эмиссии проделали авторы работ [4–5]. На основе анализа представленных в этих работах данных была составлена программа исследования для горных пород из мезозойской части разреза Западной Сибири. Было решено регистрировать сигналы акустической эмиссии в сухих (не насыщенных) образцах при скорости нагружения 60 МПа в минуту. В ходе экспериментов также контролировалось изменение поперечной и осевой деформаций образцов горной породы. Частота дискретизации записи сигналов АЭ составляет 1 мегагерц.

Материалом для проведения экспериментальных работ послужили образцы керна Вертолетной площади с интервала глубин 2276–2604 м. Проведен отбор кернового материала в объеме 44 образца (табл. 1.), который был представлен основными литологическими разностями (песчаник среднезернистый, аргиллит, алевролит и песчаник с карбонатным цементом), наиболее часто встречающимися по всему разрезу.

Эксперименты по регистрации сигналов акустической эмиссии проводились в научно-лабораторном центре компании АО «Геологика» на установке для исследования механических свойств образцов керна «ПИК-УИДК» с дополнительным встроенным модулем для записи сигналов АЭ (рис. 2).

*Таблица 1*

Коллекция экспериментальных образцов

№ п/п	Тип породы	Количество образцов, шт.
1	Песчаник среднезернистый	23
2	Алевролит	10
3	Аргиллит	3
4	Песчаник с карбонатным цементом	8



Рис. 2. Установка ПИК-УИДК: внешний вид (слева), образец в манжете, подготовленный к эксперименту (справа)

## Результаты

При проведении экспериментов были выработаны критерии для фильтрации и выделения сигналов АЭ (рис. 3). По экспериментальным данным построены графики зависимости количества зарегистрированных сигналов АЭ от нагрузки для каждого образца керна (рис. 4). В соответствии с разработанной методикой проведения лабораторных исследований получены результаты по многостадийному нагружению образца песчаника с карбонатным цементом (рис. 5).

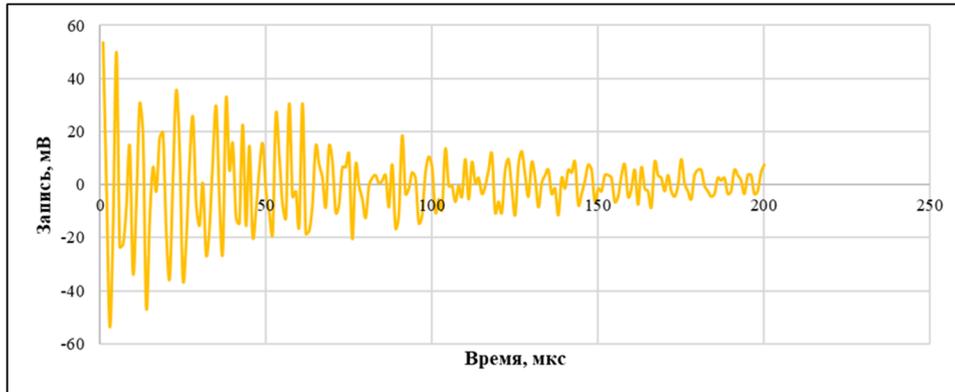


Рис. 3. Сигнал акустической эмиссии

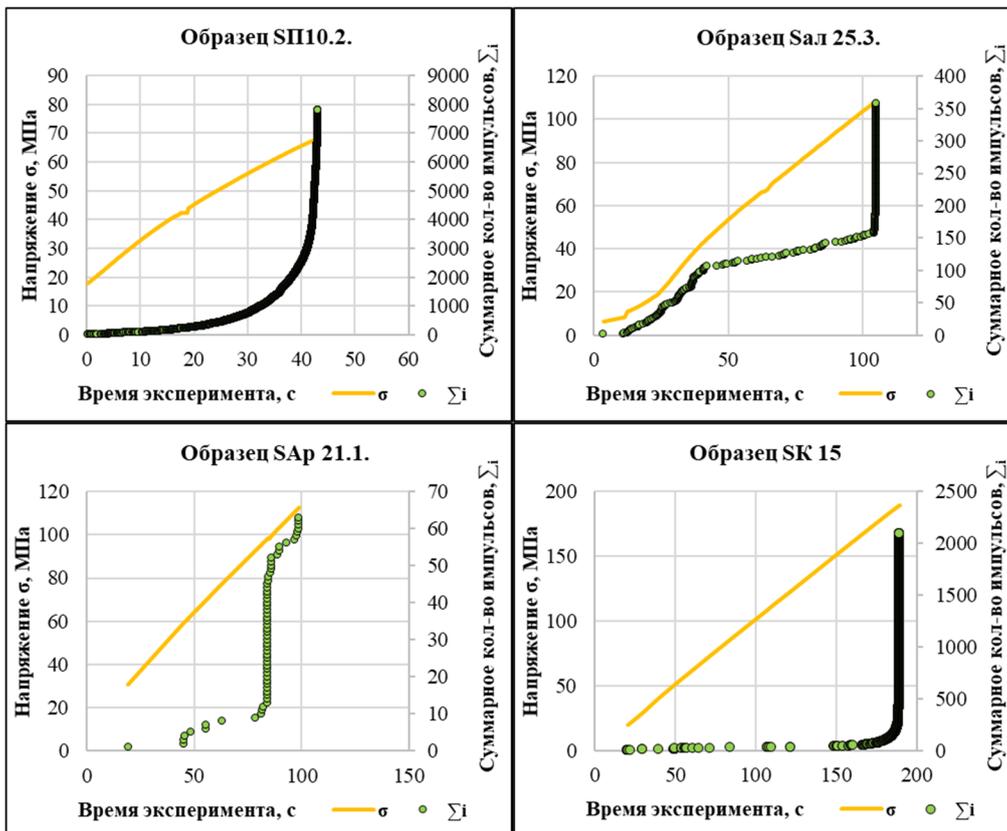


Рис. 4. Зависимость количества зарегистрированных сигналов АЭ от нагрузки для песчаника среднезернистого (СП 10.2.), алевролита (САл 25.2.), аргиллита (САр 21.1.), песчаника с карбонатным цементов (SK 15)



Рис. 5. Зависимость количества зарегистрированных сигналов АЭ от нагрузки при циклическом нагружении образца горной породы

### Обсуждение и заключение

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Сравнительно большой активностью акустической эмиссии характеризуются образцы песчаника среднезернистого. Можно сделать предположение, что это происходит в виду большого объема порового пространства и изменения положения отдельных зерен (уплотнения).

2. При проведении многостадийного нагружения образца горной породы проявление сигналов акустической эмиссии начиналось лишь после достижения ранее приложенного уровня нагрузки при низких нагрузках. Во время третьего цикла нагружений акустическая эмиссия проявилась раньше достижения последнего приложенного уровня нагружения – эффект Фелисити.

3. При выделении сигналов акустической эмиссии необходимо учитывать возможность возникновения нескольких сигналов в заданном временном интервале. На данном этапе корректировка происходит в ручном режиме.

В ходе работы были разработаны критерии для выделения сигналов акустической эмиссии и построены зависимости количества сигналов от нагружения для основных литологических разностей (песчаник среднезернистый, аргиллит, алевролит, песчаник с карбонатным цементом).

Дальнейшим шагом в работе планируется оценка напряженного состояния горных пород на основе полученных данных (эффект Кайзера), поэтому стоит упомянуть о некоторых сложностях определения напряженного состояния в пластовых условиях по данным акустической эмиссии.

1. Образец не «запоминает» напряжения ниже определенного уровня порядка 25% от предела прочности на одноосное сжатие.

2. В горных породах может наблюдаться эффект Фелисити – регистрация акустической эмиссии при механических напряжениях, значение которых ниже значения предварительно приложенного нагружения.

### 3. Неоднозначность методов определения эффекта Кайзера.

#### *Благодарности*

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ 0331-2019-0009. Авторы выражают благодарность руководству и коллективу АО «Геологика» за предоставленную возможность проведения экспериментов на оборудовании научно-лабораторного центра, финансовую поддержку и помощь в проведении экспериментов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kurita K., Fujii N. Stress memory of crystalline rocks in acoustic emission // Geophys. Res. Lett. – 1979. – Vol. 6. – P. 9-12.
2. Zang A., Stephansson O. Stress Field of the Earth's Crust. – London, New York: Springer, 2010. – 322 p.
3. Pollock A.A. Acoustic emission inspection // In: Metals handbook, 9th edn., Materials Park, Ohio, ASM International, 1989. – Vol 17. – P. 278–294.
4. Шкуратник В.Л., Лавров А.В. Эффекты памяти в горных породах. Физические закономерности, теоретические модели. – М.: Издательство Академии горных наук, 1997. – 159 с.
5. Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л. Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах. – М.: МГГУ, 2004. – 456 с.

© С. С. Цветков, Ю. И. Колесников, Д. К. Жарасбаева, 2022