МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО. ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.832 DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-103-111

Оценка геодинамической активности горных пород по результатам скважинных исследований

Баженова Е. А.[1]
[1] Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: bazenova_jena@mail.ru

Реферат

Целью исследований *является оценка современной геодинамической обстановки геологической среды посредством скважинных измерений сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения.*

Актуальность работы *обусловлена необходимостью выделения геодинамически активных зон и участков повышенного трещинообразования горных пород в скважинах.*

Методология проведения исследований. *Исследования геодинамической активности горных пород проводились в одной из скважин Северо-Тараташского участка месторождения магнетитовых кварцитов в Челябинской области. Для решения поставленной задачи применялся аппаратурно-программный комплекс МЭШ-42, предназначенный для синхронной регистрации сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения. Запись сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения осуществлялась по методике челночного каротажа, позволяющего выявлять зоны геодинамической активности горных пород по разрезам скважин и отслеживать динамику этих участков во времени.*

Результаты. *Показаны результаты применения методики челночного каротажа сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в скважине № 7 Северо-Тараташского участка.*

Выводы. *В ходе проведенных исследований сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в скважине № 7 Северо-Тараташского участка по методике челночного каротажа выделены зоны повышенной напряженности геологической среды и участки повышенного трещинообразования, что в свою очередь позволило разделить исследуемый интервал по геодинамической активности горных пород.*

Ключевые слова: *горные породы; каротаж; геоакустическая эмиссия; электромагнитное излучение; геодинамическая активность.*

Введение. Земная кора постоянно находится под влиянием факторов эндогенного и экзогенного происхождения. Сочетание различных физических процессов формирует сложный колебательный режим земной коры, который отражается в современной геодинамической обстановке геологической среды. При этом на месторождениях полезных ископаемых на напряженно-деформированное состояние геологической среды оказывают дополнительное воздействие техногенные факторы, связанные с разработкой и добычей полезных ископаемых [1].

В настоящее время наиболее распространенными способами контроля за геодинамической обстановкой массивов горных пород являются измерения дефор-

маций [2] и геодезические исследования [3]. В результате многолетних исследований сигналов геоакустической эмиссии (ГАЭ) и электромагнитного излучения (ЭМИ) установлено, что геофизические поля также позволяют проводить оценку современной геодинамической обстановки массивов горных пород. На протяжении многих десятилетий проводились исследования в области установления связи между сигналами геоакустической эмиссии, электромагнитного излучения и такими деформационными процессами, как лунно-солнечные приливы [4–7],

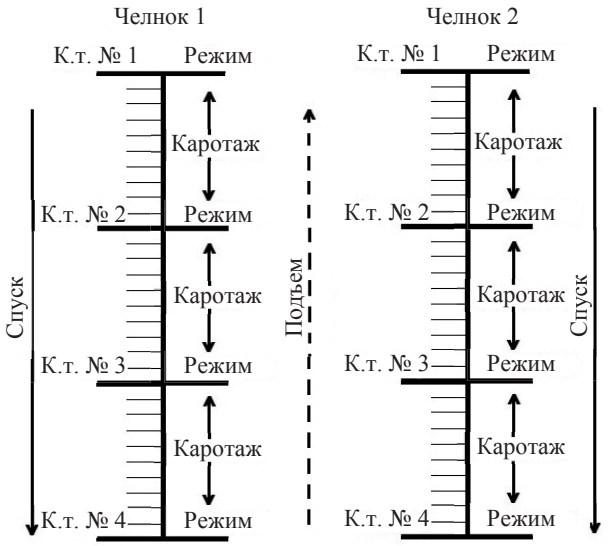

Рисунок 1. Схема исследования сигналов ГАЭ и ЭМИ в скважинах по методике челночного каротажа: К.т. – контрольная точка
Figure 1. Diagram of the study of GAE and EMR signals in wells using the shuttle logging method

собственные колебания земли [8, 9], штормовые микросейсмы [10] и прочее. При этом достаточно широко развито направление исследований сигналов ЭМИ и ГАЭ в условиях действующих карьеров [11] и шахт [12–15]. В лабораторных условиях активно проводятся эксперименты по установлению связи между стадиями разрушения различных образцов горных пород и сигналами ГАЭ и ЭМИ [16–20]. В последнее время все чаще для исследования напряженно-деформированного состояния горных пород и оценки геодинамической активности массивов применяют скважинные исследования сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения [21–23].

В настоящей работе показаны результаты измерений сигналов ГАЭ и ЭМИ по методике челночного каротажа, проведенных в одной из скважин на месторождении магнетитовых кварцитов с целью оценки геодинамической обстановки в режиме реального времени.

Аппаратура и методика исследований. Для измерения сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения применялся аппаратурно-программный комплекс МЭШ-42, разработанный в лаборатории скважинной геофизики Института геофизики УрО РАН [24]. За счет конструктивных особенностей данный прибор позволяет проводить синхронную регистрацию сигналов ГАЭ и ЭМИ. Сигналы ГАЭ регистрируются в трех частотных диапазонах с трех взаи-

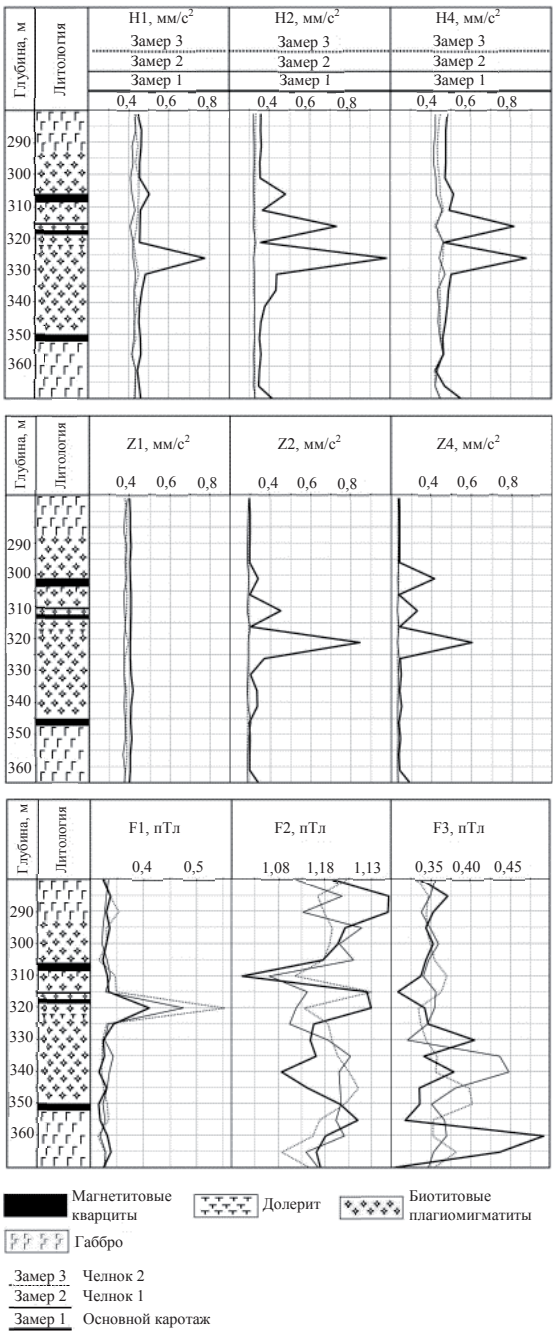

Рисунок 2. Результаты челночного каротажа в скважине № 7 Северо-Тараташского участка
Figure 2. Results of shuttle logging in well no. 7 of the Severo-Taratashsky section

моортогональных датчиков-акселерометров и программным способом преобразуются в параметры сигналов геоакустической эмиссии: H1 (результирующая с двух горизонтальных датчиков в частотном диапазоне 100–500 Гц), H2 (результирующая с двух горизонтальных датчиков в частотном диапазоне 500–5000 Гц), H4 (результирующая с двух горизонтальных датчиков в частотном диапазоне

2500–5000 Гц), Z1 (вертикальный датчик в частотном диапазоне 100–500 Гц), Z2 (вертикальный датчик в частотном диапазоне 500–5000 Гц), Z4 (вертикальный датчик в частотном диапазоне 2500–5000 Гц). Сигналы ЭМИ регистрируются на трех частотах: F1 (45 кГц), F2 (80 кГц) и F3 (120 кГц).

Для оценки геодинамической обстановки геологической среды посредством измерений сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения применялась методика челночного каротажа, разработанная в лаборатории скважинной геофизики Института геофизики УрО РАН [25]. На рис. 1 показана схема проведения измерений сигналов ГАЭ и ЭМИ по методике челночного каротажа.

Методика челночного каротажа. После проведения стандартного каротажа сигналов ГАЭ и ЭМИ (каротаж дискретный с шагом от 1 до 5 м, в зависимости от решаемой задачи и времени, выделенного на каротажные работы) выбирается участок, где были выявлены аномалии исследуемых геофизических полей. Этот интервал разбивается на равные участки с контрольными точками на границах, на которых затем выполняются краткосрочные режимные измерения. Между контрольными точками с фиксированным шагом проводится каротаж на спуске скважинного прибора. После записи режимных измерений на последней контрольной точке прибор возвращается на первую контрольную точку и производится повтор всего цикла измерений. Измерения сигналов ГАЭ и ЭМИ по данной методике позволяют не только разделить геологический разрез по геодинамической активности, но и отследить динамику выявленных аномалий во времени.

Результаты исследований. Исследования геодинамической обстановки геологической среды проводились в скважине № 7 Северо-Тараташского участка, пробуренной до глубины 940 м (*Технико-экономическое обоснование временных разведочных кондиций для подсчета запасов железных руд проявления Куватал Северо-Тараташского участка в Челябинской области (подземная отработка): отчет о НИР / отв. исполнитель А. С. Закмс; Магнитогорский металлургический комбинат. Челябинск, 2017*). Литологический разрез скважины представлен переслаиванием биотитовых плагиомигматитов, габбро, кварцито-гнейсов, даек долеритов, амфиболитовых гнейсов, кварцитов и магнетитовых кварцитов. По результатам измерений основного каротажа, проведенного по всему стволу скважины, для исследований по методике челночного каротажа выбран интервал глубин 280–370 м, где выделены амплитудные аномалии сигналов ГАЭ и ЭМИ. Контрольные точки для челночных режимных наблюдений: 280, 325 и 370 м. Шаг челночного каротажа составлял 5 м. Время одного полного цикла челночных измерений составляло 1 ч. В ходе проведения исследований выполнены два цикла измерений. На рис. 2 показаны результаты челночных измерений в режиме каротажа в сопоставлении с результатами основного каротажа.

На диаграммах параметров ГАЭ основного каротажа (замер 1) наблюдаются высокоамплитудные аномалии в интервале глубин 300–335 м. Геологическая среда в этом интервале неоднородна и нарушена переслаиванием горных пород с различными физико-механическими свойствами: биотитовых плагиомигматитов, магнетитовых кварцитов, габбро и дайкой долеритов, но при проведении двух циклов челночного каротажа (замеры 2 и 3) данные аномалии не были подтверждены. В этом же интервале на диаграмме параметра ЭМИ F1 (45 кГц) отмечается стабильная во времени аномалия на глубине 320 м (контакт магнетитовых кварцитов и биотитовых плагиомигматитов), а на глубине 310 м (контакт габбро и биотитовых плагиомигматитов) – аналогичная аномалия по параметру F2 (80 кГц). Амплитудные уровни аномальных участков на диаграммах F1 и F2 с каждым

циклом челночных измерений увеличиваются, что свидетельствует о нарастании напряженности горных пород на этих участках. Если сравнить диаграммы параметров ГАЭ и ЭМИ, то можно заметить, что аномалии сигналов электромагнитного излучения находятся в пределах аномального интервала параметров геоакустической эмиссии. С учетом природы измеряемых геофизических полей такое «поведение» сигналов ГАЭ и ЭМИ свидетельствует о напряженном состоянии горных пород в исследуемом интервале и о наличии процессов трещинообразования. При этом отсутствие аномалий по параметрам ГАЭ на замерах 2 и 3 показывает нестационарность во времени данных процессов, что является характеристикой геодинамической активности геологической среды.

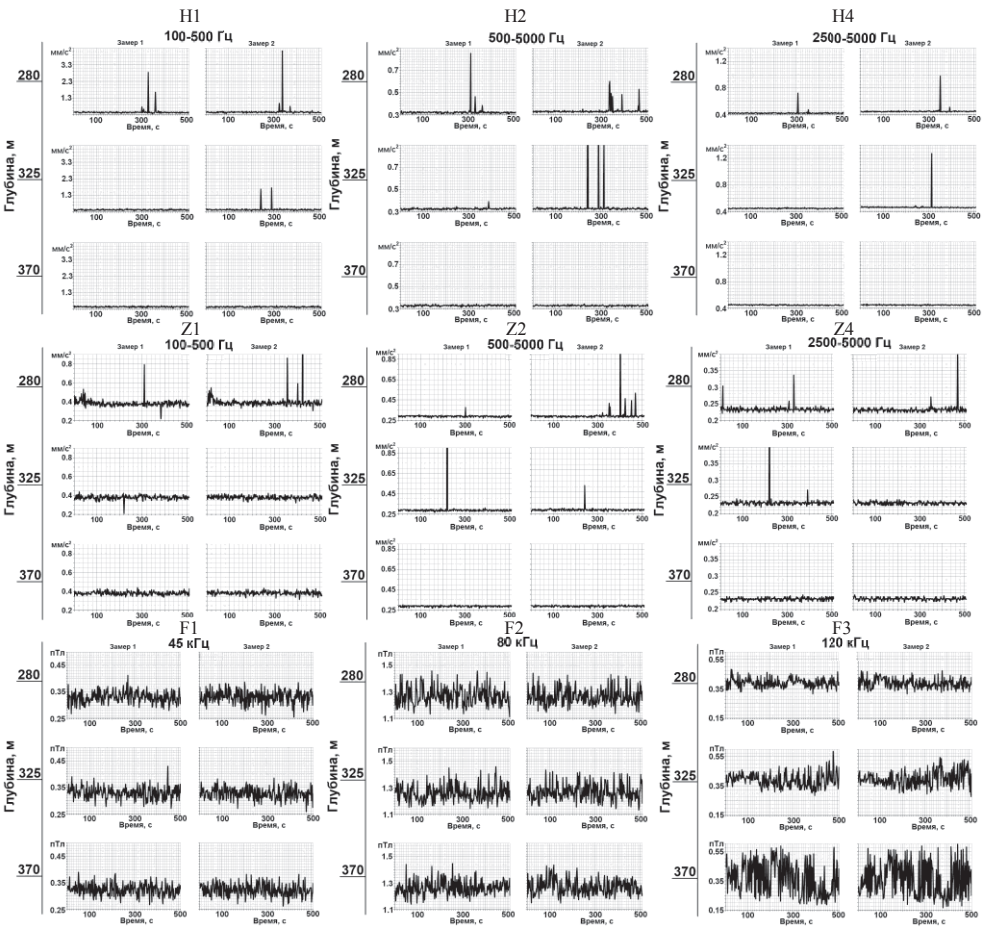

Рисунок 3. Результаты челночных режимных наблюдений в скважине № 7 Северо-Тараташского участка

Figure 3. Results of shuttle regime observations in well no. 7 of the Severo-Taratashsky area

Наиболее полную картину геодинамической обстановки в исследуемом интервале показывают режимные челночные измерения (рис. 3), проведенные на контрольных точках. Время записи на одной глубине около восьми минут (256 точек через 2 с). Разница между замерами – 1 ч. По диаграммам параметров ГАЭ на глубинах 280 и 325 м наблюдаются локальные аномалии во всем рабочем диапазоне частот от 100 до 5000 Гц, с различной интенсивностью и амплитудным уровнем

как с горизонтальных, так и с вертикального датчиков. В литологическом плане на глубине 280 м залегают габбро, а на 325 м – биотитовые плагиомигматиты. То есть в данном случае процессы трещинообразования происходят в условно однородной среде. При этом проявление аномалий на записях обоих замеров свидетельствует о том, что геологическая среда в этих точках геодинамически активна. По параметрам ЭМИ на глубинах 280 и 325 м также отмечаются локальные амплитудные всплески сигналов, при этом форма кривых сильно дифференцирована и наблюдаются заметные отклонения амплитуд от фоновых значений. На глубине 370 м (габбро) по записям сигналов ГАЭ не зафиксировано аномальных изменений. Тогда как по параметру ЭМИ на частоте 120 кГц (F3) фиксируется достаточно мощный уровень сигнала в обоих циклах измерений. Следовательно, зона габбро на глубине 370 м находится в напряженном состоянии, но при этом условий для начала процессов трещинообразования, которое отмечается сигналами ГАЭ, еще не возникло.

Обсуждение результатов и выводы. В ходе проведенных исследований в скважине № 7 Северо-Тараташского участка установлено, что выбранный интервал для оценки геодинамической активности горных пород является нарушенным и нестабильным. Это подтверждается как результатами каротажных работ, так и записями режимных наблюдений. По записям сигналов ЭМИ весь исследуемый интервал находится в напряженном состоянии. Зоны контактов пород отображаются преимущественно на частотах 45 и 80 кГц, а условно однородные среды – на частоте 120 кГц. При этом в некоторых местах данного интервала протекают процессы трещинообразования, отмечающиеся по параметрам ГАЭ, причем, учитывая, что эти процессы отображаются на записях и с горизонтальных, и с вертикального датчиков, можно предположить, что распространение новых поверхностей трещин происходит и в субгоризонтальной, и в субвертикальной плоскостях.

Таким образом, исследование геодинамической активности горных пород посредством скважинных измерений сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения по методике челночного каротажа дает возможность на качественном уровне разделять геологический разрез на динамически активные и пассивные участки, что в свою очередь позволяет прогнозировать возможные места обрушений скважинного пространства, образования каверн и мест прихвата подземного оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепов А. А., Павлова Л. Д. Оценка соответствия результатов численного моделирования и шахтных исследований параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 6(124). С. 61–69. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-61-68

2. Смирнов С. М., Еременко А. А., Гахова Л. Н., Колтышев В. Н., Шилов Д. А. Оценка геодинамической активности массива горных пород на Казском месторождении // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017. Т. 4. № 2. С. 151–156.

3. Панжин А. А. Диагностика геодинамической активности массива горных пород геодезическим методом // Гео-Сибирь. 2005. Т. 2. С. 119–124.

4. Полтавцева Е. В., Власов Ю. А., Гаврилов В. А. Исследование откликов на приливное воздействие в рядах скважинных геоакустических измерений // Вестник Камчатской региональной организации «Учебно-научный центр». Сер.: Науки о Земле. 2013. № 2(22). С. 178–183.

5. Беляков А. С., Лавров В. С., Николаев А. В. Сейсмоакустическая эмиссия, землетрясения и лунно-солнечные приливы // Доклады Академии наук. 2008. Т. 420. № 3. С. 388–389.

6. Дьяконов Б. П., Мартышко П. С., Троянов А. К., Гаврилов В. А., Астраханцев Ю. Г., Начапкин Н. И., Белоглазова Н. А. Временная изменчивость сейсмоакустической эмиссии на больших глубинах // Доклады Академии наук. 2010. Т. 433. № 2. С. 244–247.

7. Троянов А. К., Мартышко П. С., Дьяконов Б. П., Астраханцев Ю. Г., Начапкин Н. И., Белоглазова Н. А., Баженова Е. А., Вдовин А. Г. Лунно-солнечные приливные деформационные

процессы и сейсмоакустическая эмиссия в объеме геосреды // Доклады Академии наук. 2011. Т. 439. № 1. С. 110–113.

8. Троянов А. К., Мартышко П. С., Дьяконов Б. П., Астраханцев Ю. Г., Начапкин Н. И., Кусонский О. А., Баженова Е. А. Отражение собственных колебаний Земли на спектрах сейсмоакустической эмиссии в Уральской сверхглубокой скважине // Доклады Академии наук. 2014. Т. 455. № 6. С. 703. DOI: 0.7868/S0869565214120196

9. Собственные колебания Земли / под ред. В. Н. Жаркова. М.: Мир, 1964. 315 с.

10. Дьяконов Б. П., Мартышко П. С., Троянов А. К., Астраханцев Ю. Г., Начапкин Н. И. Выделение периодичностей низкочастотных деформационных процессов в вариациях электромагнитного излучения в Уральской сверхглубокой скважине // Доклады Академии наук. 2010. Т. 430. № 1. С. 105–107.

11. Вдовин А. Г., Белоглазова Н. А. Геофизические исследования динамической устойчивости массивов горных пород при разработке карьера // Уральский геофизический вестник. 2020. № 1(39). С. 4–11. DOI: 10.25698/UGV.2020.1.1.04

12. Беспалько А. А., Дмитриева С. А., Штирц В. А., Федотов П. И. Комплексная система мониторинга геодинамических проявлений после технологических взрывов в подземных рудниках // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность–2019: сб. ст. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. Севастополь: СевГУ, 2019. С. 280–284.

13. Романевич К. В., Басов К. В. Регистрация естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) горных пород в зонах опорного давления подземных сооружений // ГеоЕвразия–2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии: тр. Междунар. геолого-геофизич. конф. Москва: ПолиПРЕСС, 2018. С. 627–631.

14. Xiaofei Liu, Enyuan Wang. Study on characteristics of EMR signals induced from fracture of rock samples and their application in rockburst prediction in copper mine // Journal of Geophysics and Engineering. 2018. Vol. 15. Iss. 3. P. 909–920. DOI: 10.1088/1742-2140/aaa3ce

15. Zhang Q., Wang E., Feng X., Yue N. Rockburst risk analysis during high-hard roof breaking in deep mines // Natural Resources Research 2020. No. 29. P. 4085–4101. DOI: 10.1007/s11053-020-09664-w

16. Kong Biao, Wang Enyuan, Li Zenghua. Regularity and coupling correlation between acoustic emission and electromagnetic radiation during rock heating process // Geomechanics and Engineering. 2018. Vol. 15. No. 5. P. 1125–1133. DOI: 10.12989/gae.2018.15.5.1125

17. Zhong-Hui Li, Quan Lou, En-Yuan Wang, Shuai-Jie Liu, Yue Niu. Study on acoustic-electric-heat effect of coal and rock failure processes under uniaxial compression // Journal of Geophysics and Engineering. 2018. Vol. 15. Iss. 1. P. 71–80. DOI: 10.1088/1742-2140/aa8437

18. Li Chengwu, Wang Qifei, Ai Dihao, Dong Lihui, Wang Feiyin. Study of EMR and AE during coal fracture under quasi-static uniaxial compression load // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. 2017. Vol. 22. Iss. 4. P. 385–394. DOI: 10.2113/JEEG22.4.385

19. Вострецов А. Г., Кривецкий А. В., Бизяев А. А., Яковицкая Г. Е. Характеристики электромагнитного излучения горных пород при их разрушении в лабораторных экспериментах // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2013. № 2(21). С. 46–54.

20. Кульков Д. С., Имашев С. А. Анализ сигналов акустической эмиссии в образцах геоматериалов в условиях одноосного сжатия // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2019. № 2–1(50). С. 274–280.

21. Гаврилов В. А., Пантелеев И. А. Влияние фильтрационных процессов в горных породах на характеристики геоакустической эмиссии // Геофизические исследования. 2016. Т. 17. № 2. С. 32–53.

22. Гаврилов В. А., Полтавцева Е. В., Дещеревский А. В., Бусс Ю. Ю., Морозова Ю. В. Мониторинг состояния геосреды на основе синхронных геоакустических и электромагнитных скважинных измерений: использование естественного электромагнитного излучения // Сейсмические приборы. 2015. Т. 51. № 4. С. 41–57.

23. Астраханцев Ю. Г., Баженова Е. А., Белоглазова Н. А., Вдовин А. Г., Глухих И. И., Иванченко В. С., Хачай О. А. Комплексные геофизические исследования массивов горных пород в естественном залегании. Екатеринбург: УрО РАН, 2018. 105 с.

24. Устройство для исследования в скважинах динамического состояния горных пород: пат. 2658592 C1 Рос. Федерация. № 2017127433; заявл. 31.07.2017; опубл. 21.06.2018. Бюл. № 18. 9 с.

25. Баженова Е. А., Вдовин А. Г. Новая технология исследования скважин в режиме челночного каротажа // Шестнадцатая уральская молодежн. науч. школа по геофизике: сб. науч. матер. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2015. С. 39–42.

Поступила в редакцию 25 октября 2021 года

Сведения об авторах:

Баженова Евгения Анатольевна – научный сотрудник лаборатории скважинной геофизики Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. E-mail: bazenova_jena@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2068-7140

DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-103-111

Assessing geodynamic activity of rock by the borehole survey results

Evgeniia A. Bazhenova[1]
[1] Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Research objective *is to assess the modern geodynamic environment of the geological environment through borehole measurements of signals of geoacoustic emission and electromagnetic radiation.*
Research relevance *is due to the need to identify geodynamically active zones and areas of increased rock fracturing in wells.*
Methods of research. *Rock geodynamic activity was studied in a well of the North-Taratashsky area of a magnetite quartzite deposit in the Chelyabinsk region. MESh-42 hardware and software complex designed for synchronous registration of geoacoustic emission and electromagnetic radiation signals was used to solve this problem. Geoacoustic emission (GAE) and electromagnetic radiation (EMR) signals were recorded using the shuttle logging technique, which makes it possible to identify zones of rock geodynamic activity along well sections and track the dynamics of these sections in time.*
Results. *The results of the method of geoacoustic emission and electromagnetic radiation signals shuttle logging in well no. 7 of the North-Taratashsky area are shown.*
Conclusions. *In the course of geoacoustic emission and electromagnetic radiation signals studies in well no. 7 of the Severo-Taratashsky area according to the shuttle logging method, zones of increased stress in the geological environment and areas of increased fracture formation were identified, which, in turn, made it possible to subdivide the studied interval according to the geodynamic activity of rocks.*

Keywords: *rock; logging; geoacoustic emission; electromagnetic radiation; geodynamic activity of rocks.*

REFERENCES

1. Cherepov A. A., Pavlova L. D. Evaluation of conformance of the results of numerical modeling and mine study of the parameters of rock mass stress-strain behavior. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017; 6(124): 61–69. Available from: doi: 10.26730/1999-4125-2017-6-61-68 (In Russ.)

2. Smirnov S. M., Eremenko A. A., Gakhova L. N., Koltyshev V. N., Shilov D. A. Estimation of geodynamic activity in rock mass in the Kaz deposit area. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk = Mining sciences: fundamental and applied issues*. 2017; 4(2): 151–156. (In Russ.)

3. Panzhin A. A. Diagnosing geodynamic activity of the rock mass by a geodetic method. *Geo-Sibir = GEO-Siberia*. 2005; 2: 119–124. (In Russ.)

4. Poltavtseva E. V., Vlasov Iu. A., Gavrilov V. A. Investigation of response of the tidal effect in time-series of the borehole geoacoustic measurements. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi organizatsii "Uchebno-nauchnyi tsentr". Ser.: Nauki o Zemle = Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences*. 2013; 2(22): 178–183. (In Russ.)

5. Beliakov A. S., Lavrov V. S., Nikolaev A. V. Seismoacoustic emission, earthquakes, and lunar-solar tides. *Doklady Akademii nauk = Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2008; 420(3): 388–389. (In Russ.)

6. Diakonov B. P., Martyshko P. S., Troianov A. K., Gavrilov V. A., Astrakhantsev Iu. G., Nachapkin N. I., Beloglazova N. A. Temporal variability of ambient seismic noise at great depths. *Doklady Akademii nauk = Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2010; 433(2): 244–247. (In Russ.)

7. Troianov A. K., Martyshko P. S., Diakonov B. P., Astrakhantsev Iu. G., Nachapkin N. I., Beloglazova N. A., Bazhenova E. A., Vdovin A. G. Lunar-solar tidal deformation processes and seismoacoustic emission in the geo-environment volume. *Doklady Akademii nauk = Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2011; 439(1): 110–113. (In Russ.)

8. Troianov A. K., Martyshko P. S., Diakonov B. P., Astrakhantsev Iu. G., Nachapkin N. I., Kusonskii O. A., Bazhenova E. A. Manifestation of the Earth's free oscillations in the spectra of seismic acoustic emission in the Ural superdeep borehole. *Doklady Akademii nauk = Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2014; 455(6): 703. Available from: doi: 0.7868/S0869565214120196 (In Russ.)

9. Zharkov V. N. (ed.) *Earth's free oscillations*. Moscow: Mir Publishing; 1964. (In Russ.)

10. Diakonov B. P., Martyshko P. S., Troianov A. K., Astrakhantsev Iu. G., Nachapkin N. I. Determination of periodicities of low-frequency deformation processes in electromagnetic radiation variations in the Ural superdeep well. *Doklady Akademii nauk = Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2010; 430(1): 105–107. (In Russ.)

11. Vdovin A. G., Beloglazova N. A. Geophysical studies of dynamic stability of rock masses during quarry development. *Uralskii geofizicheskii vestnik = Ural Geophysical Bulletin*. 2020; 1(39): 4–11. Available from: doi: 10.25698/UGV.2020.1.1.04 (In Russ.)

12. Bespalko A. A., Dmitrieva S. A., Shtirts V. A., Fedotov P. I. Complex monitoring system of geodynamic events after technological explosions in underground mines. In: *Ecological, industrial and energy security–2019: Proceedings of International Research-Practice Conf. Sevastopol: SevSU Publishing; 2019*. p. 280–284. (In Russ.)

13. Romanevich K. V., Basov K. V. Recording natural electromagnetic emission of rock in the zones of bearing pressure of underground structures. In: *Geoaurasia–2018. Modern methods of studying and development of the subsoil in Eurasia: Proceedings of Internal. Geological-geophysical Conf. Moscow: PoliPRESS Publishing; 2018*. p. 627–631. (In Russ.)

14. Xiaofei Liu, Enyuan Wang. Study on characteristics of EMR signals induced from fracture of rock samples and their application in rockburst prediction in copper mine. *Journal of Geophysics and Engineering*. 2018; 15(3): 909–920. Available from: doi: 10.1088/1742-2140/aaa3ce

15. Zhang Q., Wang E., Feng X., Yue N. Rockburst risk analysis during high-hard roof breaking in deep mines. *Natural Resources Research* 2020. 29: 4085–4101. Available from: doi: 10.1007/s11053-020-09664-w

16. Kong Biao, Wang Enyuan, Li Zenghua. Regularity and coupling correlation between acoustic emission and electromagnetic radiation during rock heating process. *Geomechanics and Engineering*. 2018. 15(5): 1125–1133. Available from: doi: 10.12989/gae.2018.15.5.1125

17. Zhong-Hui Li, Quan Lou, En-Yuan Wang, Shuai-Jie Liu, Yue Niu. Study on acoustic-electric-heat effect of coal and rock failure processes under uniaxial compression. *Journal of Geophysics and Engineering*. 2018; 15(1): 71–80. Available from: doi: 10.1088/1742-2140/aa8437

18. Li Chengwu, Wang Qifei, Ai Dihao, Dong Lihui, Wang Feiyin. Study of EMR and AE during coal fracture under quasi-static uniaxial compression load. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*. 2017; 22(4): 385–394. Available from: doi: 10.2113/JEEG22.4.385

19. Vostretsov A. G., Krivetskii A. V., Biziaev A. A., Iakovitskaia G. E. Electromagnetic radiation characteristics of rocks in their destruction in laboratory experiments. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceeding of the Russian Higher School Academy of Sciences*. 2013; 2(21): 46–54. (In Russ.)

20. Kulkov D. S., Imashev S. A. Analysis of acoustic emission signals in geomaterial specimens during uniaxial compression. *Izvestiia Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova = Proceedings of Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov*. 2019; 2–1(50): 274–280. (In Russ.)

21. Gavrilov V. A., Panteleev I. A. The influence of the rock filtration processes on geoacoustic emission. *Geofizicheskie issledovaniia = Geophysical Research*. 2016; 17(2): 32–53. (In Russ.)

22. Gavrilov V. A., Poltavtseva E. V., Deshcherevskii A. V., Buss Iu. Iu., Morozova Iu. V. Geological environmental monitoring based on synchronous borehole geoacoustic and electromagnetic measurements: use of natural electromagnetic radiation. *Seismicheskie pribory = Seismic instruments*. 2015; 51(4): 41–57. (In Russ.)

23. Astrakhantsev Iu. G., Bazhenova E. A., Beloglazova N. A., Vdovin A. G., Glukhikh I. I., Ivanchenko V. S., Khachai O. A. *Integrated geophysics of in-situ rock masses*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2018. (In Russ.)

24. Astrakhantsev Iu. G., Beloglazova N. A., Troianov A. K. Device of studies of dynamic state of rocks in a well: patent RF no. 2658592 C1; 2018.

25. Bazhenova E. A., Vdovin A. G. The new technology research of wells in the regime of cyclical logging. In: *The 16ht Urals Youth Scientific School of Geophysics: collection of studies*. Perm: Mining Institute UB RAS; 2015. p. 39–42.

Received 25 October 2021

Information about authors:

Evgeniia A. Bazhenova – researcher, Laboratory of Borehole Geophysics, Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: bazenova_jena@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2068-7140

Для цитирования: Баженова Е. А. Оценка геодинамической активности горных пород по результатам скважинных исследований // Известия вузов. Горный журнал. 2022. № 1. С. 103–111. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-103-111

For citation: Bazhenova E. A. Assessing geodynamic activity of rock by the borehole survey results. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2022; 1: 103–111 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-103-111