

МЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2021.3.6

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОРОД ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ В СОЛЯНОМ МАССИВЕ

Н.Л. Бельтюков

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье представлены результаты полевых исследований по оценке геомеханического состояния пород вокруг одиночной подготовительной выработки глубокого заложения, пройденной в соляном массиве. В основе подхода исследований лежит метод акустической эмиссии и использование полученных ранее закономерностей изменения параметров импульсов при нагружении соляных пород в лабораторных условиях. Установлена ширина нарушенной зоны приконтурного массива для различных типов соляных пород, а также закономерности изменения параметров импульсов в данной зоне.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, соляные породы, деформация, подготовительная выработка, приконтурный массив, зона нарушенных пород, параметры импульсов.

Известно, что при проходке горных выработок происходит изменение исходного (природного) напряженного состояния окружающего ее массива пород с образованием зон разгрузки и концентрации напряжений вблизи контура [1]. Перераспределение напряжений приводит к нарушению пород приконтурного массива, их смещению к центру выработок, что в крайних случаях выражается в разрушении боков, почвы и кровли. Для выбора и обоснования способов охраны и крепления выработок необходима информация о размерах нарушенных зон вокруг выработок и физико-механических свойствах пород в данных зонах. В условиях Гремячинского месторождения калийных солей, характеризующихся большой глубиной ведения горных работ и присутствием в разрезе мощных пластов квазипластичных соляных пород (сильвинит, карналлит, каменная соль), склонных к ярко выраженной ползучести, проблема поддержания выработок в устойчивом состоянии является крайне актуальной [2]. В связи с этим в работе представлены результаты экспериментальных исследований по оценке размеров зоны нарушенных пород вокруг одиночной подготовительной выработки, пройденной в соляном массиве строящегося рудника Гремячинского ГОКа.

Гремячинское месторождение калийных солей является одним из крупнейших по запасам калийных руд в России и располагается в 20 км к северо-востоку от г. Котельниково Волгоградской области. Промышленный сильвинитовый пласт мощностью от 2 до 20 м залегает на глубине 1100-1300 м. Покрывающие сильвинитовую залежь породы представлены каменной солью мощностью до 5,0 м, выше которой залегают ангидрит-доломитовые породы. В данных породах размещены выработки околоствольного двора, а также ведется проходка капитальных выработок. Расположение подготовительных выработок предусмотрено по сильвинитовому пласту.

Деформирование горных пород сопровождается явлением возникновения и распространения упругих волн, которое носит название «акустическая эмиссия» (АЭ). В породах выделяют несколько основных групп источников акустической

эмиссии [3]: 1) пластическая деформация составляющих породу минеральных зерен, вызванная движением дислокаций в их кристаллической решетке; 2) скольжение по поверхностям существующих в породе микротрещин или нарушений, а также границам зерен; 3) образование и рост микротрещин. Также из этого следует, что при упругом характере деформирования пород акустическая эмиссия отсутствует.

Соляные породы имеют поликристаллическую структуру с размерами кристаллов от нескольких миллиметров до сантиметров. Отдельные кристаллы галита, сильвина или карналлита проявляют упругие свойства в достаточно широком диапазоне нагрузок. Вместе с тем при деформировании соляной породы как поликристаллического агрегата скольжение по границам кристаллов и дилатансия – явление разуплотнения связанных между собой кристаллов за счет образования микротрещин – наблюдаются даже при небольших величинах нагрузки относительно их предела прочности (2-4 МПа в режиме одноосного сжатия образца [4]). По этой причине соляные породы имеют ярко выраженный пластический характер деформирования, склонны к значительной ползучести под действием постоянной нагрузки, а сам деформационный процесс сопровождается равномерным выделением механической энергии в виде АЭ-импульсов [5].

Ранее в цикле работ [6-8] было показано, что метод акустической эмиссии имеет высокую чувствительность к деформированию соляных пород, позволяет охарактеризовать стадию ползучести, а также провести оценку степени их нарушения. В связи с этим для определения размеров нарушенной зоны вокруг выработки, пройденной в соляном массиве, был использован подход, заключающийся в установлении характера пространственного распределения АЭ-параметров пород.

С целью приема импульсов АЭ, возникающих в приконтурном массиве, разработан скважинный геофон, основным элементом которого является преобразователь резонансного типа с рабочей частотой 50 кГц (рис. 1). Запись и обработка сигналов выполнялись с помощью портативного прибора регистрации АЭ. Полевые исследования на начальном этапе заключались в бурении горизонтальной скважины диаметром 76 мм и глубиной 5-6 м в боках одиночной выработки. Затем в скважине на определенном расстоянии от контура выработки размещался геофон и в течение нескольких минут производилась запись АЭ-импульсов. После окончания записи геофон перемещался на следующую измерительную точку с шагом 0,3 м. Обработка результатов экспериментов заключалась в определении следующих параметров: активности АЭ – количества импульсов, зарегистрированных в единицу времени (в минуту); средней частоты импульса (F_{avg}); RA -параметра импульса [8].

Исследования проводились в проходческом транспортном штреке № 1, пересекающем пласты карналлита и каменной соли на глубине 1100 м. Проходка выработки производилась комбайном Урал-20Р в один ход: ширина выработки – 6,0 м, высота – 3,7 м. В забое и правом боку штрека было пробурено 4 горизонтальных скважины: скважина № 1 – непосредственно в забое; скважины №№ 2, 3, 4 – на расстоянии 3, 10, 45 м от забоя соответственно. Скважины 1-3 располагались в карналлитовом пласте, скважина 4 – в каменной соли.

По результатам мониторинга в скважинах установлено, что максимальный уровень активности АЭ на контуре выработки наблюдается в скважине 1, пробуренной в карналлитовом пласте непосредственно в забое (рис. 2). В сравнении с этим для скважин 2 и 3, расположенных также в пласте карналлита, но на удалении от забоя 3 м и 10 м соответственно, установлены более низкие значения активности.

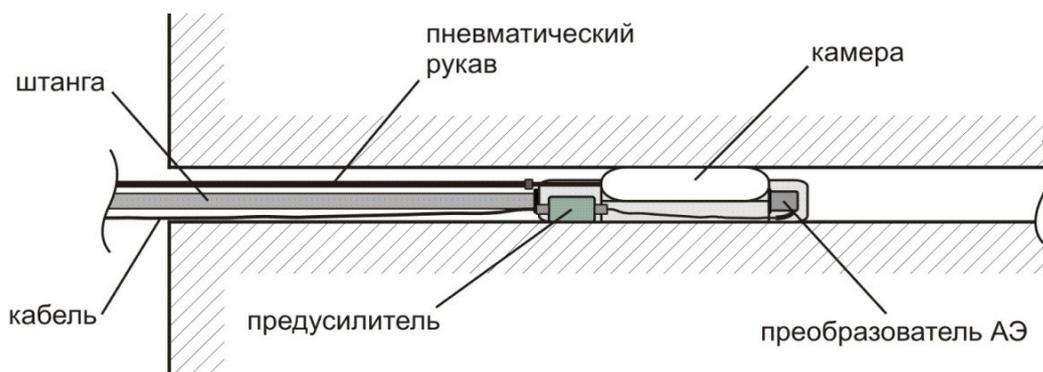


Рис. 1. Схема конструкции скважинного геофона для регистрации импульсов АЭ, излучаемых в приконтурном массиве выработки

Наименьшая активность АЭ пород приконтурного массива обнаружена в скважине 4, расположенной в пласте каменной соли. Анализ распределения значений активности АЭ по глубине скважин выявил, что максимальные значения данный параметр принимает на контуре выработки, с увеличением расстояния от контура снижается и достигает постоянной величины на удалении более 2,4 м в скважинах 1-3, и более 1,5 м в скважине 4. Необходимо отметить, что присутствие уровня «фоновой активности», приблизительно одинакового для всех скважин, на расстояниях больше указанных связано с деформацией самого контура скважины из-за концентрации напряжений вблизи него.

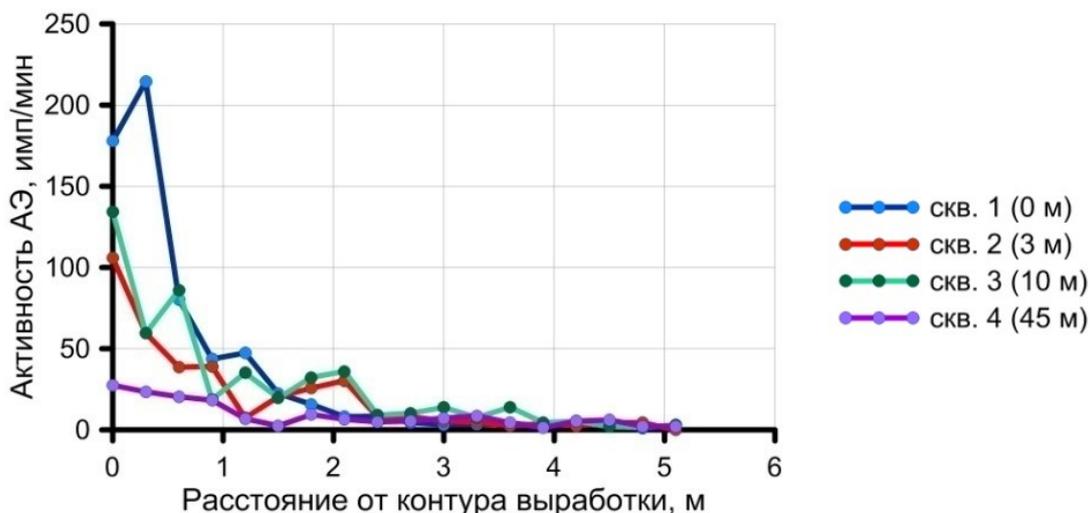


Рис. 2. Графики распределения активности АЭ в горизонтальных скважинах, пробуренных в боках выработки на различном удалении от забоя (0, 3, 10, 45 м)

Установленные закономерности указывают на ширину зоны приконтурного массива, в которой протекает активная стадия деформационных процессов, в карналлите – 2,4 м, в каменной соли – 1,5 м. Различная ширина данной зоны и соответствующий уровень активности АЭ в каменной соли и карналлите в первую очередь обусловлены различными прочностными свойствами пород: по данным работы [9] предел прочности каменной соли в среднем составляет 26 МПа, тогда как у карналлита не превышает 10 МПа. Кроме того, на уровень активности АЭ влияет время, прошедшее с момента проходки выработки, на что указывают отличающиеся результаты измерений, полученные для скважины 1 – расположенной в забое выработки, и скважин 2, 3 – расположенных на удалении от забоя.

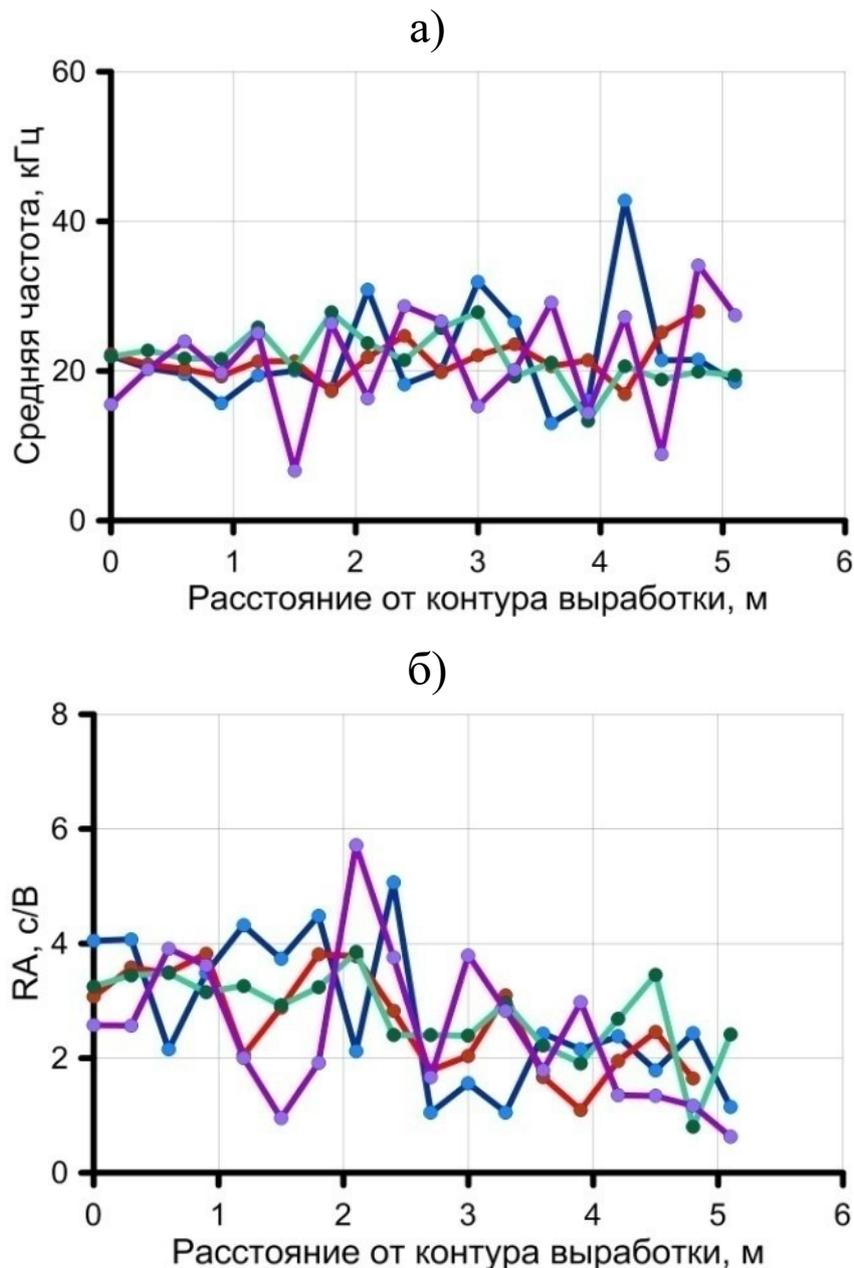


Рис. 3. Графики распределения средних значений параметров импульсов в приконтурном массиве: *а* – средней частоты; *б* – RA-параметра

В результате анализа распределения параметров импульсов АЭ установлен значительный разброс средних значений по глубине скважин (рис. 3). Выявленных трендов изменения средней частоты импульсов с удалением от контура выработки не обнаружено (рис. 3а). Вместе с тем вблизи контура выработки наблюдаются повышенные значения RA-параметра, а с удалением от контура на расстояние более 2,4-2,7 м можно отметить их снижение (рис. 3б). При этом наиболее отчетливое различие в значениях до и после данной отметки имеет место в скважине 1. Согласно исследованиям [8] повышенные значения RA-параметра говорят о более нарушенном состоянии соляных пород.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что ширина зоны нарушенных пород вокруг одиночной выработки, пройденной в массиве соляных пород Гремячинского месторождения, составляет в карналлитовых породах – 2,4 м, в

каменной соли – 1,5 м. В данной зоне обнаружены увеличенные значения RA-параметра по сравнению с условно нетронутым массивом, что позволяет сделать вывод о повышенной степени нарушенности пород. Полученные результаты говорят о том, что метод акустической эмиссии имеет высокие перспективы использования для оценки геомеханического состояния пород приконтурного соляного массива.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г., а также при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 19-45-590004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров А.Б. Практическая геомеханика: пособие для горных инженеров. – М.: Горная книга, 2006. – 391 с.: ил.
2. Морозов И.А. Оценка состояния приконтурных пород в условиях глубоких горизонтов калийных рудников // Горное эхо. – 2020. – № 2 (79). – С. 30-34. DOI: 10.7242/echo.2020.2.6.
3. Лавров А.В., Шкуратник В.Л. Акустическая эмиссия при деформировании и разрушении горных пород (обзор) // Акустический журнал. – 2005. – Т. 51, № 5. – С. 6-18.
4. Lajtai E.Z., Duncan E.J.S. The mechanism of deformation and fracture in potash rock // Canadian Geotechnical Journal. – 1988. – V. 25, № 2. – P. 262-278. – DOI: 10.1139/t88-030.
5. Бельтюков Н.Л. О механизме проявления эффекта Кайзера в осадочных горных породах // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015. – С. 102-104.
6. Бельтюков Н.Л., Гурко В.А. Особенности изменения акустоэмиссионных параметров при деформировании образцов соляных пород // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 14 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2016. – С. 122-125.
7. Бельтюков Н.Л. Исследование параметров акустической эмиссии при испытании соляных пород в режиме ползучести // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 15 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2017. – С. 131-134.
8. Бельтюков Н.Л. Исследование особенностей процесса разрушения соляных пород методом акустической эмиссии // Горное эхо. – 2020. – № 3 (80). – С. 33-38. – DOI: 10.7242/echo.2020.3.6.
9. Барях А.А., Асанов В.А., Паньков И.Л. Физико-механические свойства соляных пород Верхнекамского калийного месторождения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 198 с.

УДК 622.02

DOI:10.7242/echo.2021.3.7

ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ОСЛАБЛЕННОГО СЛОЯ НА ПРОЧНОСТЬ СЛОИСТЫХ ОБРАЗЦОВ

А.А. Ударцев

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Приведены результаты физического моделирования несущей способности междукамерных целиков, проводимого на слоистых цементных образцах, изготовленных из цементно-песчаной смеси, в условиях одноосного сжатия. Результаты исследований показали, что для трехслойных образцов присутствует более выраженный характер отклонения экспериментальных данных от расчетной оценки влияния толщины слабого слоя на прочность по сравнению с двухслойными. По результатам проведенных исследований предложена модифицированная формула средней гармонической взвешенной для расчета эквивалентной прочности слоистых образцов.

Ключевые слова: цементно-песчаные слоистые образцы, ослабленный слой, одноосное сжатие, предел прочности, прочность.