

УДК 622.026.3

М.М. Иудин, А.С. Курилко

КАНОНИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований влияния циклов замораживания-оттаивания на прочность горных пород. Предложено использовать канонический ряд для описания зависимости прочности горных пород от количества циклов замораживания-оттаивания.

Ключевые слова: прочность горных пород, циклы замораживания-оттаивания, пористость пород.

Неделя горняка

Экспериментальные исследования по влиянию циклов замораживания-оттаивания на прочность горных пород, проведенные в лаборатории горной теплофизики ИГДС СО РАН [1], показали, что наблюдается статистическая зависимость прочности на одноосное сжатие от количества циклов замораживания-оттаивания для разных типов горных пород. Исследования проводились на образцах горных пород, отобранных на месторождении «Удачный». Образцы представлены правильной кубической формы 30х30х30 мм в количестве 650 штук. По минералогическим признакам испытуемые образцы горных пород относятся к известнякам, в большинстве случаев содержат прослой мергеля. Удельная плотность породы в образце составила 2786 кг/м³. Открытая пористость образцов исследованных пород изменялась от 1 до 7%. Особенность исследованных образцов заключалась в засоленности горных пород, содержание растворимых веществ по сухому остатку мелкозернистой составляющей достигало 2,7%. Засоленность горных пород является тем фактором, который вызывает проявления локального минимума прочности при температуре от

268 до 253 К в связи интенсивными фазовыми переходами до 263 К.

Степень уменьшения прочности определяется пористостью и естественной трещиноватостью горных пород. В экспериментах отмечено, что с увеличением пористости прочность горных пород уменьшается. Прочность образцов с пористостью меньше 1% упала после воздействия 20 циклов замораживания-оттаивания на 30%. Прочность образцов с пористостью больше 2,5% понизилась на 50%.

Обобщенные результаты экспериментальных исследований в табл. 1 и 2. В табл. 1 приведены обобщенные данные при циклическом замораживании влагонасыщенных образцов горных пород до температуры -20 С. Причем, разделение пористости горных пород принято на уровне 3 %.

В табл. 2 приведены данные экспериментальных исследований образцов горных пород в воздушно-сухом состоянии при температуре -20 С.

Анализ таблицы показывает, что после 5 циклов замораживания-оттаивания снижение прочности образцов составило около 12%, после 40 циклов достигло 26%. Увеличение количества воздействий циклов замо-

Таблица 1

Изменение прочности влагонасыщенных горных пород

Прочность на одноосное сжатие, МПа	Количество циклов замораживание-оттаивание					
	0	3	5	10	20	40
Пористость пород до 3%						
Средняя величина	173	163	157	149	141	132
Пористость пород свыше 3%						
Средняя величина	92	82	73	68	65	60

Таблица 2

Обобщенная зависимость прочности горных пород в естественном состоянии

Количество циклов замораживание-оттаивание				
0	5	40	100	200
Средняя прочность на одноосное сжатие, МПа				
189,8	167,7	140,3	135,8	131,9

раживания-оттаивания до 200 привело к снижению средней прочности образцов на 34%.

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что прочность горных пород существенно зависит от количества циклов замораживания-оттаивания. Эти результаты можно считать корректными для горных пород трубки «Удачная». К сожалению, для других месторождений необходимо повторять экспериментальные исследования по определению влияния циклов замораживания-оттаивания на прочностные свойства горных пород. Чтобы расширить область применения экспериментальных данных, необходимо обобщить результаты исследований и привести их к зависимости, например, как это сделано в работах [2, 3].

В работе [2] установлено, что шкалы наиболее распространенных существующих классификаций горных пород по прочностным показателям представляются общей функциональной зависимостью экспоненциального характера, независимо от классифицируемого прочностного свойства, на основе фундаментального канонического ряда.

Построение шкалы прочностных показателей горных пород рекомендуется представлять в виде канонического ряда:

$$Z_J = Z_0 \left(\sqrt{2} \right)^{J-1}, J = 1, 2, \dots, M, \quad (1)$$

где J — порядковый номер класса пород в соответствующей классификации; Z_0 — базовое значение классифицируемого показателя; M — количество классов в классификации.

В качестве примера приведем классификацию горных пород на одноосное сжатие, разработанную А.С. Танаино (табл. 3).

Зависимость (1) применяется при функциональном возрастании параметра Z . В случае уменьшения параметра Z применяется обратная зависимость:

$$Z_J = \frac{Z_0}{\left(\sqrt{2} \right)^{J-1}}. \quad (2)$$

В формулах (1, 2) параметр J имеет целые значения, что определяет изменение функции Z на 41,4 %. При определении классов общих классификаций физико-механических

Таблица 3

Каноническая шкала прочности горных пород на одноосное сжатие [2]

Класс горных пород														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Средняя прочность на одноосное сжатие, МПа														
4,0	5,7	8,0	11,3	16,0	22,6	32,0	45,3	64,0	90,5	128	181	256	362	512

свойств шаг разбиения (1, 2, 3 и т.д.) вполне подходит для описания слабых и весьма крепких горных пород. В тоже время для поиска закономерностей изменения свойств горных пород в небольших интервалах, особенно для однотипных горных пород — слишком большой шаг разбиения. При условии сохранения канонической формы зависимости следует применять мелкий шаг разбиения шкалы классификации. Целесообразно использовать шкалу от 1 до 2, в крайнем случае — до 3-х. Шаг разбиения можно принять от 0,1 до 0,2. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения переменной составляющей формул (1, 2) для шага разбиения 0,2

Функция	Параметр J					
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$(\sqrt{2})^{J-1}$	1	1,072	1,149	1,231	1,319	1,414

Для обработки экспериментальных данных, учитывая, что с увеличением количества циклов замораживания-оттаивания прочность горных пород уменьшается, применяем зависимость вида (2). Основная проблема будет заключаться в поиске зависимости параметра J от количества циклов замораживания-оттаивания. Результаты расчетов и сравнение с экспериментальными данными на соответствие с циклами замораживания-оттаивания приведены в табл. 5.

Анализ показывает, что зависимость параметра J от цикла замораживания-оттаивания существенно опре-

Таблица 5

Соответствие параметра J с циклами замораживания-оттаивания по экспериментальным данным

Показатели	Параметр J								
	1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2
Горные породы в воздушно-сухом состоянии									
$\sigma_{сж}$, МПа	189,8	177	171,1	165,2	154,2	148,9	143,9	138,9	134,2
Циклы, n	0			5				40	100
Влагонасыщенные горные породы с пористостью до 3%									
$\sigma_{сж}$, МПа	173	161,4	156	150,6	139,7	135,8	131,1	126,6	122,3
Циклы, n	0	3	5	10	20		40		
Влагонасыщенные горные породы с пористостью более 3%									
$\sigma_{сж}$, МПа	92	85,8	82,9	80	74,7	72,2	69,7	67,3	65

деляется типами и состоянием влажности и пористости горных пород. Причем, чем больше пористость горных пород, тем при меньшем количестве циклов параметр J равен 2. Это говорит о том, что уменьшение прочности горных пород на 41% наступит при меньшем количестве циклов замораживания-оттаивания, т.е. каноническое представление прочности горных пород от количества циклов возможно описать формулой (2). Проведенное сравнение результатов расчета по формуле (2) с экспериментальными данными подтверждает, что наблюдается зависимость цикла замораживания-оттаивания от канонического представления прочности горных по-

род. Чтобы выявить общие закономерности требуется выполнить широкие экспериментальные исследования для каждого месторождения полезных ископаемых.

Таким образом, зависимость прочности горных пород в мерзлом состоянии от количества циклов замораживания-оттаивания можно представить каноническим рядом, используя формулу (2), в которой параметр J определяется по табл. 4. Для выявления общих закономерностей необходимо иметь большую базу экспериментальных данных, которые позволят определить зависимость параметра J от циклов замораживания-оттаивания горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Курилко А.С.* Экспериментальные исследования влияния циклов замораживания-оттаивания на физико-механические свойства горных пород. — Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. — 154 с.

2. *Танайно А.С.* О классификации полускальных и скальных горных пород по пока-

зателям прочности // Вестник КузГТУ. — 2008. — №2. — С.7-13.

3. *Опарин В.Н., Танайно А.С., Юшкин В.Ф.* О дискретных свойствах геосреды и их каноническом представлении // ФТПРПИ. — 2007. — №3. — С.6-24. **ИДБ**

Коротко об авторах

Курилко А.С. — доктор технических наук, заведующий лабораторией;
Иудин М.М. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, г. Якутск
e-mail: igds@ysn.ru

