

## К ВОПРОСУ О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

В. Н. ПУЛЯЕВ, Е. А. ПИСАРЕВ

(Представлена советом НИИ гидрогеологии и инженерной геологии)

Изучение пространственных закономерностей изменчивости физико-механических свойств горных пород служит обоснованием наиболее правильного инженерно-геологического опробования горных пород и поэтому приобретает особое значение при анализе фактического материала инженерно-геологических исследований. В настоящее время теоретические результаты и методические рекомендации изложены в работах Н. В. Коломенского, в которых выделяются следующие типы пространственной изменчивости свойств горных пород: почти функциональная, скачкообразно-закономерная и скачкообразно-незакономерная. Однако практических приемов корректного выделения отмеченных типов изменчивости данным автором не было дано, в то время как визуальное изучение пространственных переменных не дает надежной основы для соответствующих выводов. Настоящая статья в какой-то мере устраняет этот пробел.

Как известно, при решении ряда инженерно-геологических задач (опробование горных пород, выбор расчетных показателей и т. п.) с практической точки зрения имеет большое значение выделение скачкообразно-закономерного или скачкообразно-незакономерного типов изменчивости, в то время как почти функциональный тип, как отмечает Н. В. Коломенский, в природе обычно не встречается. Таким образом, задача состоит в установлении наличия или отсутствия в пределах какого-либо инженерно-геологического элемента упорядоченности в пространстве частных значений показателей свойств горных пород. В связи с этим всякий раз возникает необходимость проверять нулевую гипотезу, заключающуюся в том, что увеличение или уменьшение значений признака носит случайный характер. Эту гипотезу легко проверить, применяя так называемый «знаковый тест», который основывается на биномиальном законе распределения и относится к непараметрическим методам математической статистики [1, 2].

Допустим, что мы имеем  $N$  значений какого-либо показателя однотипной породы  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , расположенных в порядке увеличения какой-либо пространственной координаты. Далее находим медиану  $Me$  и образуем разности  $x_1 - Me, x_2 - Me, \dots$ . Предположим, что для этих разностей мы получили последовательность знаков:

— — + — + + + — —

Всякую последовательность, состоящую из одних и тех же знаков, будем называть серией. Вероятность получения  $m$  серий в по-

следовательности выражается функцией  $h(m)$ , которая при четном  $m = 2j$ , т. е.  $j = \frac{m}{2}$  равна

$$h(m) = \frac{C_{N_1-1}^{j-1} \cdot C_{N_2-1}^{j-1}}{C_{N_1+N_2}^{N_1}}. \quad (3)$$

При нечетном  $m = 2j + 1$ , где  $j = \frac{m-1}{2}$ ,

$$h(m) = \frac{1}{C_{N_1+N_2}^{N_1}} \cdot \left( C_{N_1-2}^j \cdot C_{N_2-1}^{j-1} + C_{N_1-1}^{j-1} \cdot C_{N_2-1}^j \right). \quad (4)$$

В формулах (3) и (4)  $N_1$  — число знаков „плюс“,  $N_2$  — число знаков „минус“, например,

$$C_{N_1-1}^j = \frac{(N_1 - 1)!}{j! (N_1 - 1 - j)!}$$

и т. д.

При  $N_1 = N_2 = N^*$  и  $m = 2j$

$$h(m) = 2 \cdot \frac{C_{N^*-1}^{j-1}}{C_{2N^*}^{N^*}}, \quad (5)$$

а при  $m = 2j + 1$

$$h(m) = 2 \cdot \frac{C_{N^*-1}^j \cdot C_{N^*-1}^{j-1}}{C_{2N^*}^{N^*}}. \quad (6)$$

Вероятность того, что число серий  $m$  окажется равным или менее некоторого числа  $d_0$ , полученного из фактических данных, принимает вид

$$P(m \leq d_0) = \sum_{m=2}^{m=d_0} h(m). \quad (7)$$

Характер флуктуаций частных показателей можно считать случайным, если

$$P(m \leq d_0) > \gamma, \quad (8)$$

где  $\gamma$  — уровень значимости. В противном случае (т. е. при  $P(m \leq d_0) \leq \gamma$ ) имеет место систематическое изменение характеристик свойств в пространстве, т. е. гипотеза об их независимости отвергается. Если  $N_1 \geq 10$  и  $N_2 \geq 10$ , то можно пользоваться формой нормального распределения, т. е.

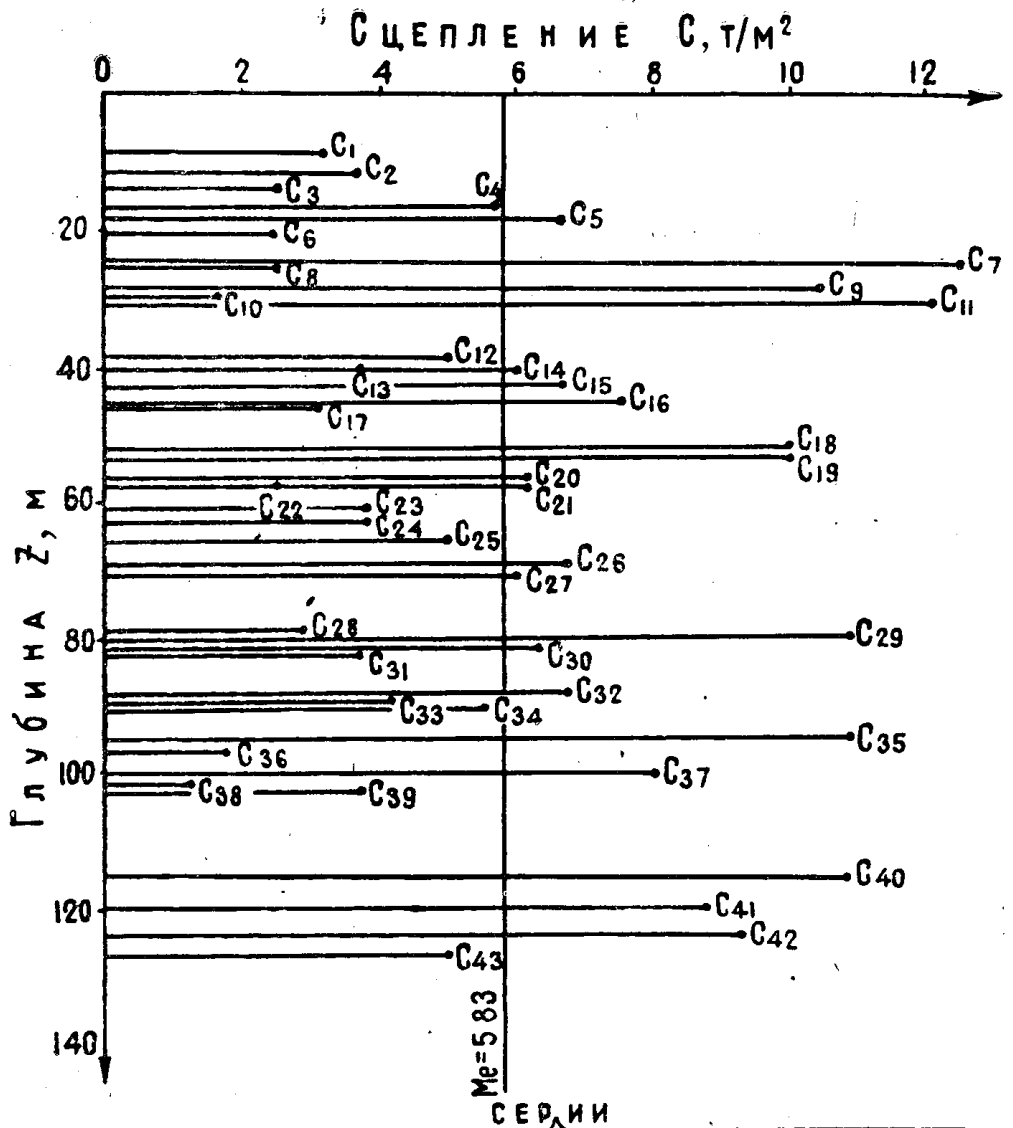
$$P(m \leq d_0) = 0,5 - \Phi(t), \quad (9)$$

где

$$t = \frac{\frac{2N_1 \cdot N_2}{N_1 + N_2} - d_0}{2 \cdot \sqrt{N_1 + N_2} \cdot \frac{N_1 \cdot N_2}{(N_1 + N_2)^2}}. \quad (10)$$

Значение вычисленных  $\Phi(t)$  принимается из таблицы, приведенной в работе [1]. В соответствии с рекомендациями I. Наиск [2] для проверки гипотезы о случайном характере флуктуаций показателей свойств пород по глубине можно принять  $\gamma = 0,05$ .

С применением рассмотренного «знакового теста» исследованы закономерности изменчивости частных показателей свойств с глубиной на примере мезозойских полускальных пород Татауровского буроголь-



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		

$N = 43, Me = 5.83; N_1 = 21; N_2 = 22; d_0 = 25$   
 $P(m \leq d_0) = 0.5 - \Phi \left( \frac{\frac{2 \cdot 22 \cdot 21}{43} - 25}{2\sqrt{\frac{21 \cdot 22}{43}}} \right) = 0.3573$   
 $P(m \leq 25) = 0.3573 >> \gamma = 0.05 [5]$

Рис. 1. Распределение коэффициентов сцепления (с) песчаников Татауровского бурогоугольного месторождения по глубине (z).

ного месторождения, расположенного в крупной Читино-Ингодинской депрессии. Результаты приведены в табл. 1, а техника вычислений иллюстрируется для показателя сцепления песчаников на рис. 1. Расчеты показали, что свойства песчаников, алевролитов и аргиллитов не упоря-

Таблица 1

Типы пород	Показатели	Медиана $M_e$	Число определенных $N$	Число серий $d_0$	Число плюсов $N_1$	Число минусов $N_2$	Вероятность $P(m \leq d_0)$
Песчаники	Объемный вес, $t/m^3$	1,95	51	22	27	24	0,3300
	Влажность, %	19,15	44	21	22	22	0,1179
	Пористость, %	36,5	48	26	23	25	0,3600
	Угол внутреннего трения, град.	34,5	42	19	17	25	0,1500
	Сцепление, $t/m^2$	5,83	43	25	21	22	0,3573
	Предел прочности на сжатие, $t/m^2$	4,3	44	18	23	21	0,3869
Алевролиты	Объемный вес, $t/m^3$	2,02	43	18	22	21	0,3530
	Влажность, %	17,6	44	18	21	22	0,3530
	Пористость, %	34,85	44	16	18	26	0,3859
	Угол внутреннего трения, град.	29,37	36	20	17	18	0,3289
	Сцепление, $t/m^2$	9,19	36	16	19	17	0,2734
	Предел прочности на сжатие, $t/m^2$	21,15	24	10	11	13	0,4996
Аргиллиты	Объемный вес, $t/m^3$	2,025	23	10	12	11	0,2380
	Влажность, %	19,25	23	8	11	12	0,4270
	Пористость, %	34,61	23	6	13	10	0,4870
	Угол внутреннего трения, град.	22,0	18	11	10	8	0,3517
	Сцепление, $t/m^2$	5,63	18	12	10	8	0,441

Примечание. Уровень значимости  $\gamma$  принят равным 0,05 [2].

дочены по глубине, а наблюдаемый разброс частных характеристик является случайным и его можно анализировать с использованием формул математической статистики независимых случайных величин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Налимов. Применение математической статистики при анализе вещества. Физматгиздат, 1960.
2. I. H a u s k. Die Auswertung der äußeren Kontrolle chemischer Analysen mit Hilfe des Zeichen — Tests und des Zeichen — Rangsummen — Tests. «Bergbautechnik», 4, 1966.