© С.С. Серый, 2007

УДК 550.8

С.С. Серый

МЕТОДИКА И КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Семинар № 1

Одним из главных условий инженерно-геологического районирования массивов скальных горных пород является структурная однородность выделенных районов (блоков). Зачастую, особенно в массивах со сложной, многоэтапно проявленной трещиноватостью, выполнить это условие обычными геологоструктурными методами затруднительно. Автором для расчленения скального массива на структурно-однородные блоки предложен специальный метод, основанный на кластерном анализе совокупности круговых диаграмм ориентировки трещин, построенных для различных участков исследуемого массива.

По своей сути такие диаграммы являются гистограммами и отражают частоту полюсов трещин на полусфере, а применительно к системам трещин – частоту их проявления, выраженную в процентах от общего количества измерений ориентировки трещин, по которым построена диаграмма. Таким образом, любая диаграмма может быть представлена рядом независимых переменных (частотами проявления систем трещин). Схожими считаются те диаграммы, у которых между рядами независимых переменных отклонение минимальное или близкое к нулю.

Каждый из сравниваемых элементов рядов можно представить точкой на математической оси. Например, три диаграммы, для которых система трещин «А» имеет частоту проявления соответственно 6, 18 и 51 %, на математической оси будут позиционироваться так, как показано на рис. 1.

Расстояние на оси между диаграммами отражает меру их схожести в отношении системы «А». Значит, построив для каждой потенциальной системы трещин математическую ось, можно производить сравнение диаграмм. Число систем, а следовательно математических осей, может быть достаточно большим, т.е. процедура измерения расстояний между диаграммами как меры их схожести осуществляется в многомерном математическом пространстве. Функцией расстояния между двумя точками (x;y) в таком пространстве по признаку (i) является расстояние в метрике Евклида (d_E) [1]:

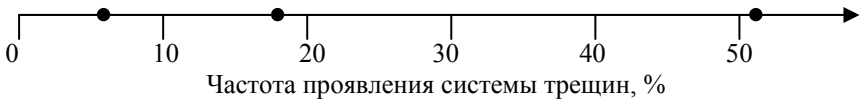
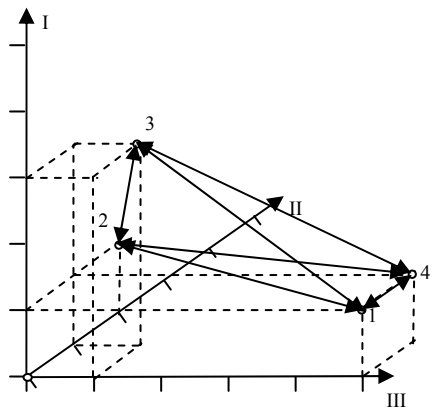


Рис. 1. Положение диаграмм ориентировки трещин на математической оси



$$d_E(x_i; y_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^{1}(x_i - y_i)^2},$$

где x_i и y_i – значения коэффициента по оси i.

Для начала рассмотрим относительно простой случай, когда породный массив характеризуется тремя системами трещин (I,II, III) с неравномерной плотностью их распределения на четырех участках массива, на которых выполнены измерения ориентировки трещин, а по данным этих измерений построены ориентирные диаграммы с выделением систем и оценкой степени проявления каждой системы (табл.)

Частота проявления систем трещин на различных участках породного массива

Номер диаграммы (участка)	Частота проявления систем трещин, %		
	I	II	III
1	10	0	50
2	10	20	0
3	30	10	10
4	10	10	50

Поскольку в данном случае мы имеем три системы, для наглядности представим многомерное математическое пространство как трехмерное геометрическое и определим позицию в нем диаграмм 1-4, используя приведенную выше формулу (рис. 2).

Рис. 2. Позиция ориентирных диаграмм 1-4 в трехмерном пространстве (I, II, III - оси систем трещин)

Очевидно, что по критерию «наименьшего расстояния» ориентирные диаграммы образуют две группы, одна из которых включает диаграммы 1 и 4, а другая - диаграммы 2 и 3. Это означает, что исследуемый массив состоит из структурно-однородных участков двух типов. В зависимости от взаимного расположения участков, по которым были построены диаграммы, массив следует районировать на два или четыре района (блока) (рис. 3).

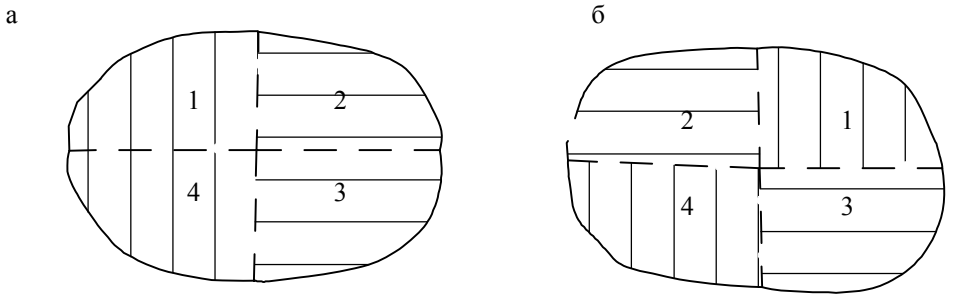


Рис. 3. Схема районирования породного массива на структурно-однородные блоки (а - на два блока; б - на четыре блока)

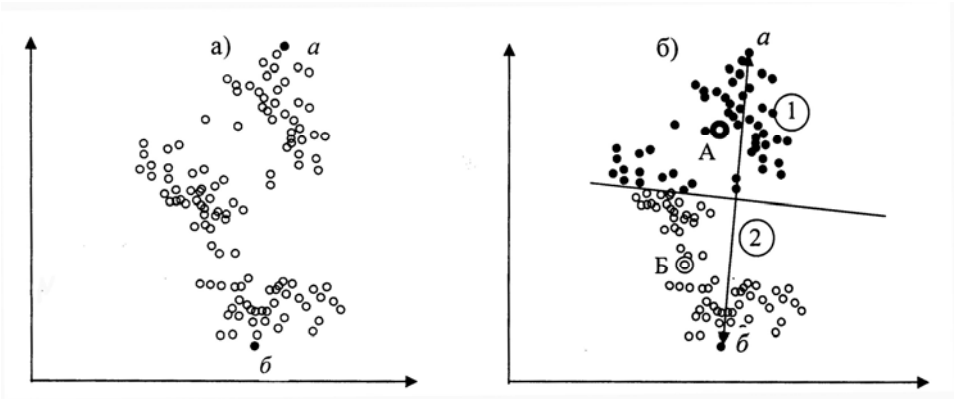


Рис. 4. Распределение точек (ориентирных диаграмм) в двумерном пространстве (а) и первый шаг его разбиения на две группы точек (б)

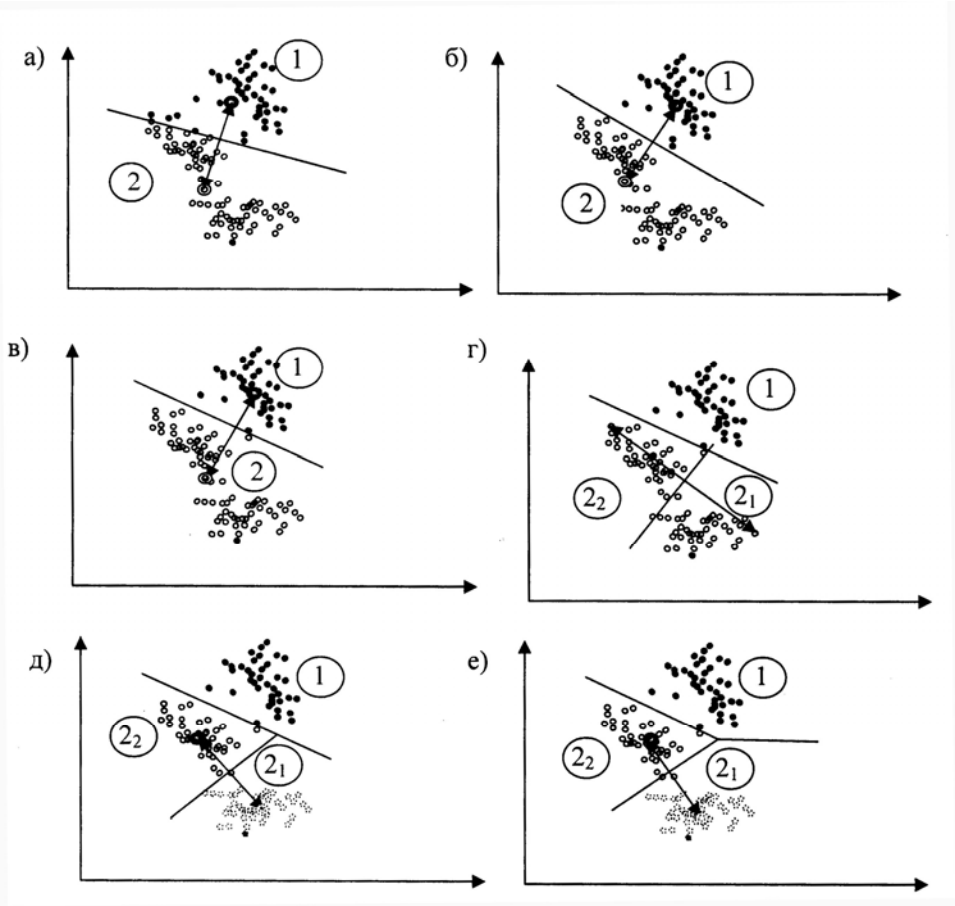


Рис. 5. Схема, поясняющая процедуру разбиения поля точек (ориентирных диаграмм) на три группы (кластера)

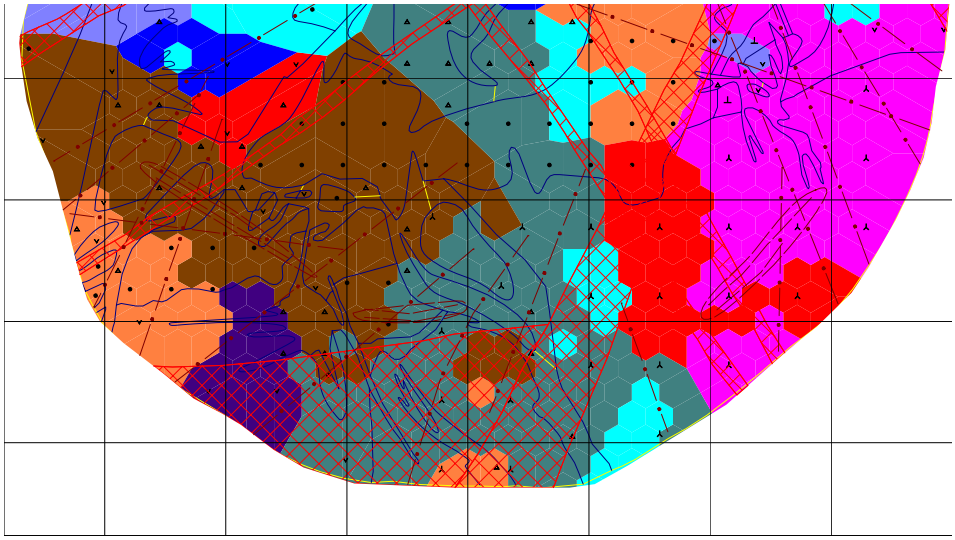


Рис. 6. Фрагмент схемы районирования карьерного поля Ковдорского месторождения с применением кластерного анализа. Структурно-однородные блоки одного типа показаны одинаковым цветом

Аналогичным образом создается многомерное пространство и в случае множества ориентирных диаграмм. В двумерном пространстве, взятом для наглядности, такое множество представляется неравномерным (с участками сгущения и разрежения) полем точек (рис. 4, *а*). В данном примере визуально можно выделить три участка повышенной плотности точек. Рассмотрим на этом примере алгоритм разделения заданной области математического пространства на кластеры. Для начала принимаем, что все точки образуют одну группу и выделяем в ней две наиболее удаленные точки (а и б), относительно которых пространство разделяется на два подпространства, каждое со своей группой точек (рис. 4, *б*)

Затем для этих групп (1 и 2) определяются центры масс (соответственно А и В), относительно которых формируются свои группы точек. Такая балансировка между группами точек продолжается до тех пор, пока не стабилизируется положение центра масс групп точек (рис. 5, *а-в*). После этого самая большая группа точек разделяется на две (2_1 и 2_2) с применением вышеописанной процедуры балансировки (рис. 5, *г-е*). В итоге получаем три группы точек (кластеров), каждая из которых соответс-твует одному из трех типов структурно-однородных блоков в исследуемом скальном массиве.

Автором выполнена программная реализация описанного выше алгоритма кластерного анализа и разработана компьютерная технология районирования скальных массивов на структурно-однородные блоки. Она включает следующие процедуры (в последовательности их выполнения):

1) создание геометрического запроса к базе данных трещин по регулярной сети с заданным радиусом;

2) построение диаграмм ориентировки трещин по результатам запроса;

3) создание матрицы «расстояний» между точками (диаграммами);

4) кластерный анализ.

Процедуры 1 и 2 детально описаны в работе [2]. В итоге создается список файлов с результатами кластерного анализа Опыт применения указанной компьютерной технологии для районирования карьерного поля Ковдорского апатит-магнетитового месторождения (рис.6) , по которому за многие годы натурных исследований сформирована обширная база данных трещин, показал работоспособность предложенного алгоритма кластерного анализа.

Полученные результаты позволили уточнить границы структурно-однородных блоков в массиве и существенно скорректировать схему инженерно – геологического районирования карьерного поля, построенную на основе традиционных методических подходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гитис Л.Х.* Кластерный анализ: основные идеи и методы. – М.: Изд-во МГГУ, 2000.
2. *Серый С.С.* Алгоритмическая основа и компьютерная технология моделирования решетки трещин в массивах скальных горных пород – В кн.: Вопросы осушения, горнопромышленной геологии и охраны недр, геомеханики, промышленной гидротехники, геоинформатики, экологии. (Материалы 7-го международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях») - Белгород: ФГУП ВИОГЕМ, 2003.

ГИАБ

Коротко об авторах

Серый С.С. – кандидат технических наук, ФГУП ВИОГЕМ.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. КАНЫША САТПАЕВА			
ЖУСУПОВ Канат Куатжанович	Технология корпоративного управления геотехнологическим комплексом на открытых разработках	25.00.22	д.т.н.