

2. Грабежев А.И., Белгородский К.А., Чашухина В.А. Меднопорфировая минерализация Урала.- Свердловск, 1986. - 64 с. - (Препринт /УНЦ АН СССР).

3. Кузин А.В., Наседкин А.П. Выделение рудоносных кольцевых структур геофизическими методами на Дразном участке (Турьинский меднорудный район) // Геофизические работы при региональных и геологоразведочных исследованиях на Урале: Тез. докл. конференц. 28-29 ноября 1989 г. - Свердловск, 1989. - С.36-37.

4. Кузин А.В., Наседкин А.П. Критерии прогнозирования меднопорфирового оруденения на Среднем и Северном Урале // Геодинамика и металлогения Урала: Мат-лы ко Второму Уральскому металлогеническому совещанию. - Свердловск, ИГГ УО АН СССР, ПО «Уралгеология», УрВНТГео, - 1991. - С.186-187.

5. Язева Р.Г., Пучков В.Н., Бочкарев В.В. Комплексы активной континентальной окраины на Урале // ДАН. - 1983. - Т.300, N4. - С.927-931.

УДК 550.837.653

В.А.Серков

КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД НА ПРИМЕРЕ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА

При построении петрофизических моделей рудных месторождений проблема классификации горных пород по физическим свойствам является одной из самых важных. В настоящее время можно отметить два подхода к решению этой проблемы: определение структурно-вещественных комплексов (СВК) [1] и определение физических классов [3,4,5].

Реализация первого способа классификации рудовмещающих пород предполагает объединение в единый структурно-вещественный комплекс горных пород и руд по признаку схожести их функций распределения. При этом на первом этапе анализируются выборки, сформированные по петрографическим или структурным признакам. Предполагается, что геологическая информация представлена достаточно надежно, а значения физических параметров (свойств) внутри каждой анализируемой выборки распределены по нормальному или логнормальному закону. На втором этапе производится объединение в СВК тех типов горных пород, функции распределения которых идентичны. В реальных условиях однородность распределения физических свойств в пределах петрографического типа пород - явление довольно редкое. В качестве примера на рис.1 приведены вариационные кривые распределения магнитной восприимчивости основных типов рудовмещающих пород Озерного медноколчеданного месторождения на Южном Урале. Форма приведенных графиков свидетельствует о том, что в большинстве случаев вариационные кривые имеют полимодальный характер, то есть горные породы одинакового состава неоднородны по магнитной восприимчивости. Следовательно, выделение СВК в этом случае является достаточно сложной задачей.

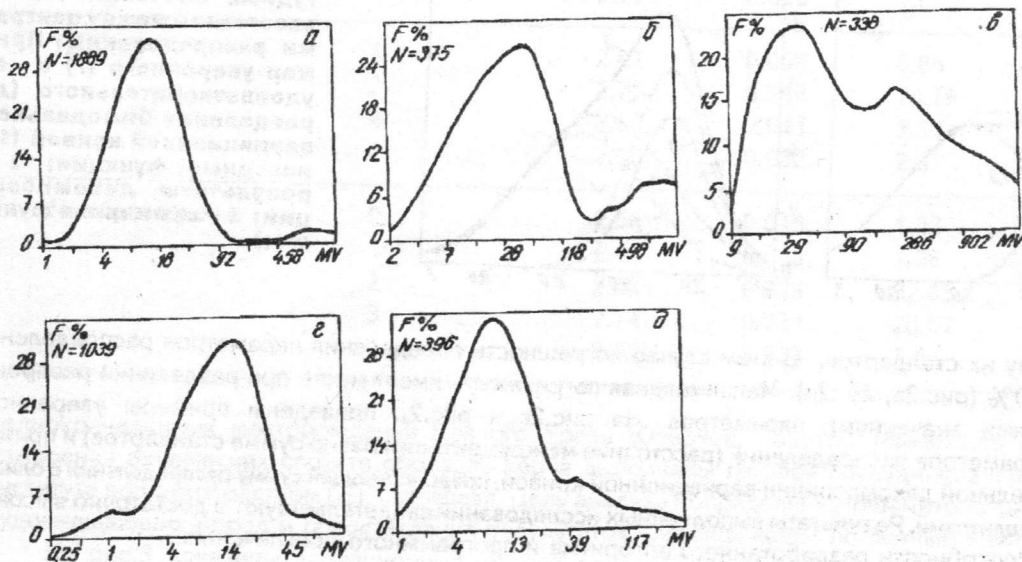


Рис.1. Вариационные кривые распределения магнитной восприимчивости рудовмещающих пород Озерного медноколчеданного месторождения:

а - туфы и туфо-брекчии; б - порфириты (кроме диабазовых); в - диабазы и диабазовые порфириты; г - кварцевые и липарит-дацитовые порфиры; д - метасоматиты

В основе второго способа классификации заложен анализ только информации о распределении физических свойств. Полагая, что внутри физического класса значения параметра распределены по нормальному или логнормальному закону, функция распределения генеральной выборки (сформированной из значений физических свойств всех рудовмещающих пород месторождения) представляется в виде суммы распределений Гаусса с разными значениями коэффициентов A , C , S [2,7]:

$$F = \sum_{j=1}^k A_j \exp[-(X - C_j)^2 / (2S_j^2)],$$

где k - количество классов горных пород по рассматриваемому физическому параметру; X - значения рассматриваемого параметра или его натурального логарифма (в зависимости от закона распределения); C_j - наиболее вероятное значение физического параметра, характеризующего класс j ; S_j - стандарт распределения параметра в классе j ; A_j - значение функции плотности распределения параметра в классе j при $X=C_j$;

Дифференциация рудовмещающих пород на основе выделения физических классов более удобна для решения геофизических задач, особенно на стадии накопления геолого-геофизической информации. В этом случае геологическая информация об изучаемом объекте нередко бывает либо противоречивой, либо недостаточной. Кроме того, нередко сложный характер распределений параметров ставит под сомнение объективность выделения структурно-вещественных комплексов.

Несмотря на то, что второй способ классификации рудовмещающих пород по физическим свойствам широко применяется в практике геофизических исследований, дискуссии относительно его правомерности и объективности продолжают иметь место. Наибольшие сомнения вызывает надежность разделения (декомпозиции) эмпирической функции распределения на модальные функции. Существует несколько способов декомпозиции вариационных кривых [2,7]. Наиболее оптимальным, с точки зрения автора, является методика разделения с использованием характерных точек функции Гаусса, предложенная С.С.Сысковым [7]. На основе этой методики автором данной статьи создан пакет программ для ПЭВМ IBM PC/XT/AT, реализующий разделение полимодальной вариационной кривой на унимодальные составляющие в интерактивном режиме (пакет DRAKON).

Исследование возможностей программного обеспечения выполнено на математических моделях бимодальных распределений с разными значениями параметров. Результаты, приведенные на рис.2, показывают, что достаточно уверенно разделяются распределения, расстояние между центрами которых

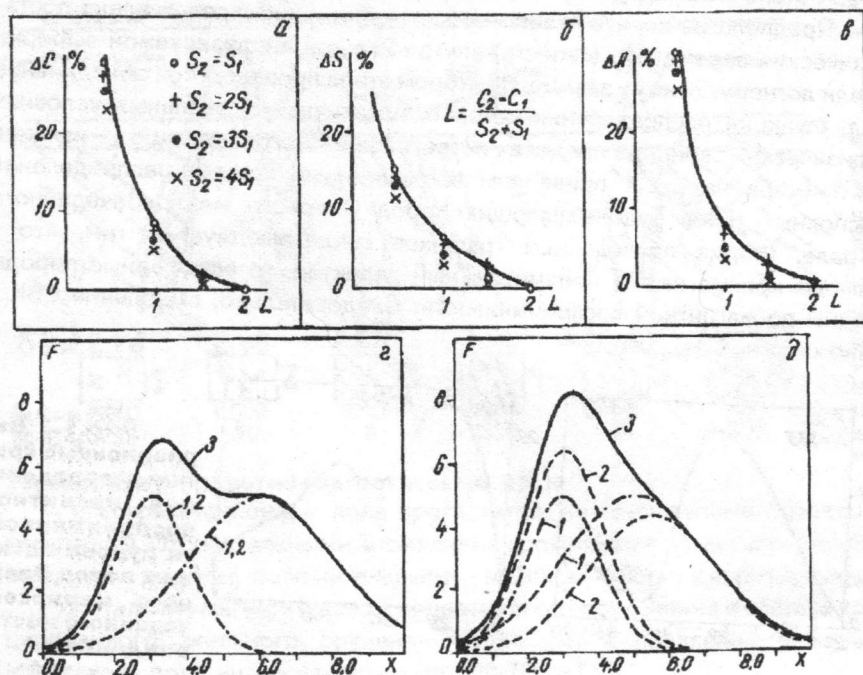


Рис. 2. Результаты оценки разрешающей способности программного обеспечения декомпозиции вариационных кривых. Графики зависимости относительных погрешностей определения модальных значений (а), стандартов (б) и амплитудных значений (в) от расстояния между центрами распределений. Пример уверенного (г) и неудовлетворительного (д) разделения бимодальной вариационной кривой (1 - исходные функции; 2 - результаты декомпозиции; 3 - суммарная функция)

превышает сумму их стандартов. В этом случае погрешность определения параметров распределений не превышает 10% (рис.2а, 2б, 2в). Максимальная погрешность имеет место при разделении распределений с близкими значениями параметров. На рис.2г и рис.2д приведены примеры уверенного определения параметров распределений (расстояние между центрами равно сумме стандартов) и пример неудовлетворительной декомпозиции вариационной кривой, представляющей сумму распределений с близко расположенными центрами. Результаты выполненных исследований свидетельствуют о достаточно высокой разрешающей способности разработанного алгоритма и программного обеспечения.

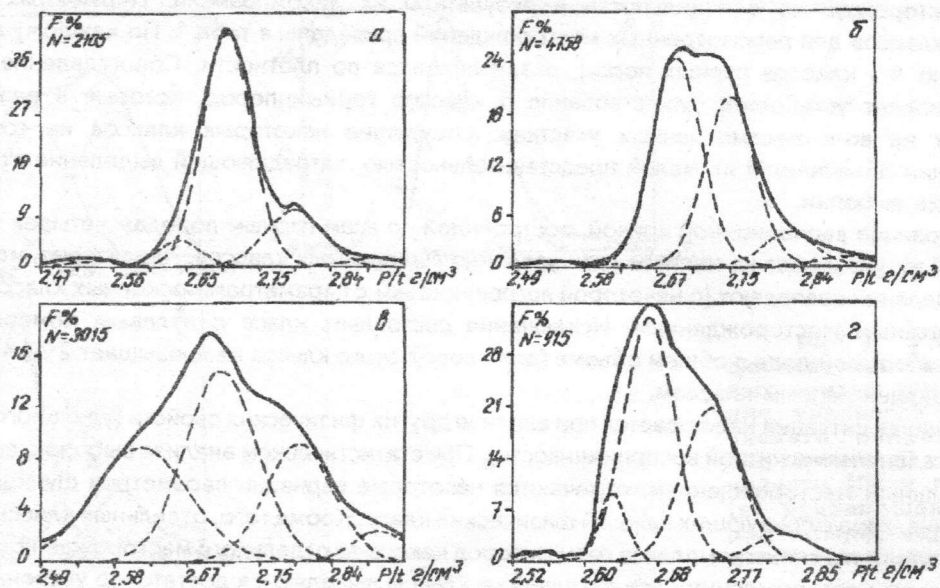


Рис.3. Вариационные кривые распределения плотности рудовмещающих пород месторождений Маканского (а), Озерного (б), Таш-тау (в) и Мамбетовского (г)

Средствами автоматизированной системы обработки и интерпретации петрофизических данных [5], автором выполнен анализ результатов измерений физических свойств рудовмещающих пород четырех

ТАБЛИЦА 1
 Параметры функций распределения плотности рудовмещающих пород медноколчеданных месторождений Южного Урала

Месторожд.	Номер класса	Мода	Станд.	Ампл.	Доля
Маканское	0	2.54	0.027	0.98	1.45
	1	2.64	0.027	4.56	6.56
	2	2.70	0.031	41.09	69.78
	4	2.79	0.036	10.06	19.83
	5	2.89	0.035	1.47	2.38
Озерное	0	2.55	0.046	0.47	1.36
	2	2.69	0.030	24.51	49.38
	3	2.76	0.030	20.01	39.53
	4	2.83	0.030	3.92	7.89
	5	2.89	0.028	1.07	1.84
Таш-тау	1	2.61	0.058	8.86	31.84
	2	2.71	0.044	14.78	40.64
	4	2.80	0.041	9.11	23.57
	5	2.90	0.032	2.37	3.95
Мамбетовское	0	2.56	0.013	1.23	0.89
	1	2.63	0.015	9.28	7.61
	2	2.68	0.028	32.85	50.33
	3	2.74	0.031	20.62	35.13
	4	2.82	0.031	3.62	6.04

медноколчеданных месторождений Южного Урала (Озерное, Таш-тау, Маканское и Мамбетовское). Измерения физических свойств образцов керна выполнены группой сотрудников Уральского горного института под руководством Г.П.Саковцева. Цель анализа - определение параметров физических классов рудовмещающих пород и сопоставление результатов классификации по разным месторождениям.

На рис.3 показаны вариационные кривые распределения плотности рудовмещающих пород по

каждому месторождению в отдельности и результаты их декомпозиции. Параметры выделенных физических классов для рассмотренных месторождений приведены в табл. 1. По каждому месторождению выделено 4-5 классов горных пород, различающихся по плотности. Сопоставление параметров классов позволяет установить существование 6 классов горных пород, которые в разной степени присутствуют на всех рассмотренных участках. Отсутствие некоторых классов на том или ином месторождении объясняется их малой представительностью, затрудняющей выделение этих классов в общем объеме выборки.

Декомпозиция вариационной кривой, построенной по всем горным породам четырех месторождений (см.рис.4,в), указывает на наличие пяти уверенно выделяемых классов. Характерно, что параметры этих распределений совпадают (с некоторой погрешностью) с параметрами основных классов, выделенных по отдельным месторождениям. Исключение составляет класс с нулевым номером, который вследствие небольшой доли в общем объеме (доля пород этого класса не превышает 2%) в генеральной выборке поглощен первым классом.

Аналогичная ситуация наблюдается при анализе других физических свойств (удельного электрического сопротивления и магнитной восприимчивости). При статистическом анализе выборок, сформированных по отдельным месторождениям, отмечаются некоторые вариации параметров функций плотности распределения, характеризующих каждый физический класс. Кроме того, отдельные классы могут иметь малую представительность в комплексе горных пород какого-то отдельного месторождения. При анализе выборки по всем месторождениям все физические классы выделяются достаточно уверенно (см.рис.4). Численные значения параметров функций распределения физических свойств внутри классов приведены в табл.2.

Таблица 2

Параметры функций распределения физических свойств рудовмещающих пород медноколчеданных месторождений Южного Урала

Физические свойства (закон расп.)	Номер класса	Параметры распределений			
		C	S	A	D%
Удельное электр.сопрот. ρ ом.м (логнормальн.)	1	73.19	1.564	1.16	2.63
	2	318.62	1.878	5.29	18.10
	3	1032.77	1.842	10.86	36.03
	4	4113.38	1.964	11.95	43.23
Магнитная восприимчивость χ 10^5 СИ (логнормальн.)	1	1.75	1.231	1.10	1.21
	2	4.90	1.323	7.49	11.60
	3	13.97	1.404	26.45	49.58
	4	34.06	1.467	13.91	29.45
	5	103.34	1.817	2.03	6.68
	6	386.84	1.416	1.02	1.48
Плотность σ г/см ³ (нормальн.)	1	2.60	0.053	2.77	10.18
	2	2.69	0.030	26.86	56.22
	3	2.76	0.019	14.22	19.12
	4	2.82	0.030	5.94	12.48
	5	2.91	0.022	1.45	2.00

Геологическое истолкование выделенных классов горных пород можно выполнить с позиций петрофизической зональности медноколчеданных месторождений [6]. Удельное электрическое сопротивление отражает степень изменения горных пород в процессе формирования месторождения, а параметры физических классов в целом соответствуют результатам аналогичной классификации, выполненной по другим месторождениям этого региона [4,6]. Выделенные классы характеризуют: вкрапленные руды и метасоматиты внутренней зоны (1 класс), метасоматиты (2 класс), слабо измененные горные породы (2 класс) и неизмененные горные породы (4 класс).

Величина магнитной восприимчивости в меньшей степени связана со степенью метаморфизма, а указанные в табл.2 6 классов выделяются не на всех месторождениях. Например, горные породы шестого класса выделены только на Озерном месторождении и представлены подрудными метасоматитами с вкрапленностью пирротина. Пятый класс полностью включает в себя диабазы и диабазовые порфириды. Первый класс представлен породами коры выветривания. Надрудные метасоматиты преимущественно относятся ко второму классу. Третий и четвертый классы охватывают практически все разновидности

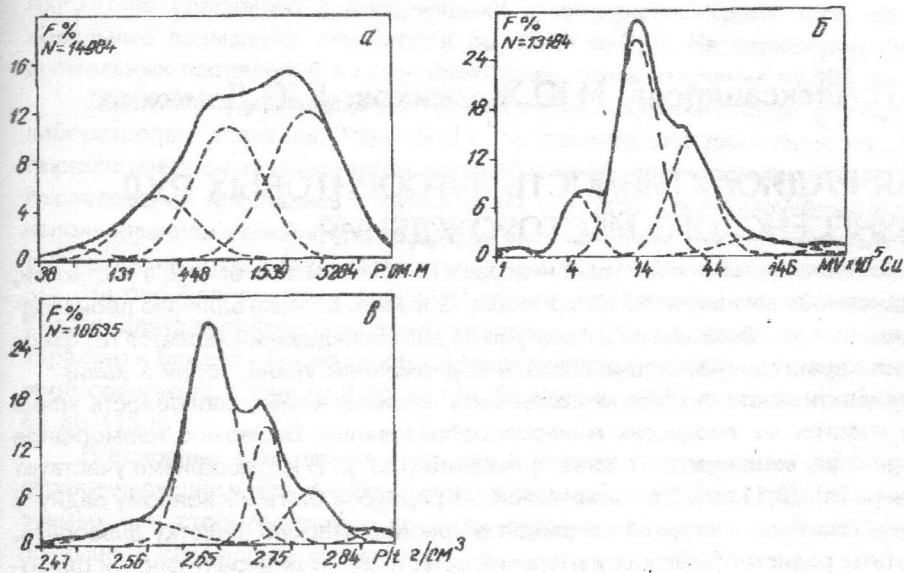


Рис.4. Результаты декомпозиции вариационных кривых распределения удельного электрического сопротивления (а), магнитной восприимчивости (б) и плотности (в) рудовмещающих пород четырех медноколчеданных месторождений

рудовмещающих пород.

Анализ результатов классификации по плотности свидетельствует, что неизменные эффузивы относятся к породам второго и частично третьего класса. К третьему классу относятся и слабоизмененные породы экзоконтакта метасоматитов с эффузивами. Метасоматиты преимущественно принадлежат к породам четвертого класса, а сильноизмененные метасоматиты с вкрапленностью сульфидов составляют породы пятого класса. Первый класс представлен породами коры выветривания и зон тектонических нарушений.

ВЫВОДЫ

1. Результаты выполненных исследований свидетельствуют о правомерности классификации рудовмещающих пород по физическим свойствам для решения задач геофизического моделирования.

2. Разработанные автором алгоритм и программное обеспечение позволяют с достаточной для практических целей надежностью определять параметры физических классов на основе статистического анализа результатов измерения физических свойств образцов горных пород в условиях дефицита геологической информации.

3. Рассмотренные в статье примеры свидетельствуют о стабильности физических свойств для однотипных месторождений, расположенных в пределах довольно обширного региона. Отмеченное, с одной стороны, еще раз подтверждает правомерность данного способа классификации, с другой - позволяет рекомендовать выражение (1) и табл.2 в качестве математической модели функции распределения физических свойств рудовмещающих пород медноколчеданных месторождений Южного Урала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вахромеев Г.С., Давыденко Д.Ю. Моделирование в разведочной геофизике.- М.: Недра, 1987.- 192 с., ил.
2. Вихирев В.В. Разделение двухвершинных распределений плотности горных пород //Разведочная геофизика.- М.: Недра, 1970, вып.42.-С.93-98.
3. Сапожников В.М. Использование диаграмм каротажа для петрофизического картирования рудовмещающих горных пород: Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений //Геофизические методы ... : Межвуз.научн.темат.сб. - Свердловск, 1977. Вып.1.- С.11-19.
4. Сапожников В.М., Голиков Ю.В., Берг Л.Я. Опыт объемного петрофизического картирования рудовмещающих пород месторождения Осеннее //Там же.- С.20-27.
5. Серков В.А. Автоматизированная система интерпретации результатов рудной петрофизики // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика.- 1993.- Вып.2.- С.41-46.
6. Соловьев Г.А. Петрофизическая характеристика эндогенных месторождений.- М.: Недра, 1984.- 161 с.
7. Сысков С.С. Приближенный способ разделения полимодальных распределений: Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений: Межвуз.научн.темат.сб.- Свердловск, 1984. Вып. 11.- С.77-82.