

3. Саковцев Г. П., Сапожников В. М., Голиков Ю. В. Построение геомеханических моделей массивов рудовмещающих горных пород по данным скважинной электротомографии // Изв. вузов. Горный журнал.— 1978.— № 8.— С. 3—8.

4. Редозубов А. А. Об электрическом сопротивлении пород, вмещающих колчеданные месторождения Урала // Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений: Тр. СГИ, вып. 128.— Свердловск, 1975.— С. 53—61.

5. Сапожников В. М. Использование диаграмм каротажа для петрофизического картирования рудовмещающих горных пород // Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений: Межвуз. науч. темат. сб.— Свердловск, 1977, вып. 1.— С. 11—19.

6. Сапожников В. М., Шевченко В. Г. Теория и методика электроразведки в градиентных средах.— Л.: Недра, 1992.—135 с.

УДК 550.837.653

В. А. Серков

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РУДНОЙ ПЕТРОФИЗИКИ

Необходимость автоматизации процесса обработки и интерпретации результатов петрофизических исследований обусловлена, с одной стороны, трудоемкостью вычислительных процедур, предусматривающих анализ большого объема числовых данных, с другой — потребностью частого повторения процесса по мере накопления петрофизической информации. Особенно это актуально, если рассматривать петрофизику не только в качестве основы для формирования комплекса методов полевой и скважинной геофизики, но и как самостоятельный метод исследований в рудной геофизике. В данной статье рассматриваются проблемы формализации процесса интерпретации результатов петрофизических исследований и возможные варианты их решения, реализованные автором в системе программного обеспечения интерпретации результатов измерений физических свойств керна поисковых и разведочных скважин.

Процесс получения геологической информации на основе анализа результатов петрофизических исследований можно представить в виде следующей схемы:

1. Обработка результатов полевых и лабораторных измерений, в основе которой, как правило, лежат методы статистического анализа. Целью обработки является выделение групп горных пород или структурно-вещественных комплексов, в пределах которых распределение физических свойств подчиняется нормальному или логнормальному закону [1, 4].

2. Физическая интерпретация данных или построение модели распределения физических свойств горных пород в изучаемой части геологического пространства.

3. Геологическая интерпретация — объяснение природы неоднородностей распределения физических свойств среды.

Первый этап приведенной выше схемы реализуется, как правило, с помощью хорошо известных алгоритмов [1, 2, 4] и в настоящее время достаточно хорошо обеспечен программными разработками для ЭВМ различных типов.

Компьютеризация третьего этапа предполагает включение в анализ геологической информации, формализация которой и разработка алгоритмов ее использования связаны с определенными трудностями.

Наибольший интерес в контексте рассматриваемой проблемы представляет процесс построения физической модели изучаемого пространства на основе анализа петрофизических данных. Во-первых, успехи в этой области значительно скромнее, нежели при решении задач обра-

ботки данных. Во-вторых, широкое распространение персональных вычислительных машин позволяет реализовать достаточно сложные технологии анализа результатов исследований, включая в процесс формальной интерпретации интуицию и опыт инженера-геофизика.

Процесс построения физической модели реализуется путем выполнения следующих процедур:

— определение общего характера (концепции) модели распределения физических свойств в пределах изучаемого пространства;

— определение элементов модели и их параметров по отдельным трассам (маршрутам) отбора образцов или точкам определения физических свойств иными способами;

— построение моделей распределения физических свойств по отдельным плоским разрезам (горизонтальным или вертикальным);

— построение объемной модели распределения физических свойств.

При реализации каждой из перечисленных выше процедур инженер-интерпретатор сталкивается с решением целого ряда задач, которые можно разделить на два класса:

1. Задачи, решение которых достигается путем использования алгоритмов, однозначно определяющих решение в зависимости от исходных данных.

2. Задачи, допускающие множество решений при одних и тех же исходных параметрах. Решение задач этого класса интерпретатор получает, либо основываясь на собственном опыте и интуиции, либо (что на практике происходит значительно реже) путем выбора решения из нескольких альтернативных вариантов.

Очевидно, что в процессе построения физической модели задачи второго класса превалируют над задачами, для которых существует однозначное решение. Поэтому одной из основных проблем формализации физической интерпретации является изменение соотношения между указанными выше задачами в пользу первого класса. Кроме того, необходимо предоставить интерпретатору возможность более обоснованного выбора решения из нескольких вариантов.

Математическое обеспечение компьютерных технологий интерпретации результатов геофизических исследований строится на основе определения характера интерпретационной модели и ее элементов. При интерпретации результатов петрофизических исследований можно рассматривать два типа моделей распределения физических свойств в плоскости горизонтального или вертикального разреза:

— модель с непрерывным изменением значений физических параметров, в которой отсутствуют границы между горными породами, характеризующимися разными значениями физических свойств;

— модель с дискретным распределением физических параметров при наличии четких границ между блоками горных пород, внутри которых физические свойства сохраняют постоянные значения.

При построении моделей первого типа задача интерпретатора заключается в определении функциональной зависимости, наиболее правдоподобно описывающей закономерности распределения физического параметра в заданной плоскости. Алгоритмы и программное обеспечение решения этой задачи разработаны автором данной статьи. Исследования показали, что такая обобщенная модель может в большинстве случаев быть использована для определения общей концепции при построении дискретных моделей.

Для построения моделей второго типа использована методика и математический аппарат, предложенный В. М. Сапожниковым [4] для интерпретации результатов рудного каротажа, которая реализована автором данной статьи в соответствующем программном обеспечении [5]. В качестве элемента модели рассматривается часть пространства с

равномерным распределением горных пород, характеризующихся повышенными и пониженными значениями исследуемого физического параметра. Модифицированные применительно к особенностям петрофизических исследований программы построения физических моделей разрезов скважин прошли успешно апробацию на ряде месторождений Урала и Средней Азии.

Наиболее сложной для формализации является задача построения дискретной модели в плоскости вертикального или горизонтального разреза. Оптимальной формой решения этой задачи, по мнению автора, является сочетание графических средств ПЭВМ с возможностью применения алгоритмов распознавания [2], позволяющих интерпретатору более обоснованно производить корреляцию элементов физических моделей разрезов соседних скважин.

Средства решения задач физической интерпретации объединены в систему автоматизированной обработки и интерпретации результатов рудной петрофизики (система GURZA) для персональных компьютеров типа IBM PC/XT/AT. При инициализации системы в ПЭВМ создается операционная среда, предоставляющая пользователю необходимый набор средств для построения моделей распределения физических свойств в пространстве. Система достаточно доброжелательна по отношению к пользователю и не требует от него глубоких знаний в области вычислительной техники.

Информационную основу системы составляет база данных файлового типа, состоящая из двух разделов.

- результаты полевых и лабораторных измерений;
- результаты обработки и интерпретации.

Первый раздел содержит файлы данных с результатами измерений физических свойств и результаты инклинометрии скважин. Данные объединяются в файлы по топографическим признакам (участок, месторождение и т. п.). Кроме результатов измерений физических свойств, в базу данных заносятся топографические привязки точек отбора образцов и в закодированном виде петрографическая информация. Способ кодирования определяется с помощью специально построенного тезауруса [3], текст которого также заносится в базу данных.

Второй раздел базы данных формируется в процессе эксплуатации системы и содержит информацию следующего вида:

- параметры гистограмм распределения физических свойств;
- параметры физических классов горных пород по разным свойствам;
- физические модели разрезов скважин;
- модели распределения физических свойств в плоскости вертикальных и горизонтальных разрезов.

Структура программного обеспечения системы GURZA изображена на рис. 1. Задачи, решаемые системой, объединены в четыре группы.

1. Процедуры обслуживания баз данных (формирование файлов, просмотр содержимого, выборка необходимых для работы или вывода на бумажные носители содержимого файлов).

2. Процедуры, поддерживающие решение задач статистического анализа данных, основной целью которого является разделение диапазона изменения физических свойств на физические классы и определение параметров этих классов путем декомпозиции функции распределения на унимодальные составляющие по методике, описанной в работе [6].

3. Процедуры, обеспечивающие построение физических моделей разрезов отдельных скважин. Предусмотрены два режима построения модели. В автоматическом режиме построение модели производится без участия пользователя после указания минимального размера элемента модели по оси скважины. В полуавтоматическом режиме пользователь

предварительно выделяет границы элементов модели на экране видеомонитора, после чего программа производит определение параметров каждого элемента. Значения параметров разреза представляют собой числовые характеристики физических и структурных особенностей выделенных элементов модели разреза. Описание параметров приведено в работах [4, 5].

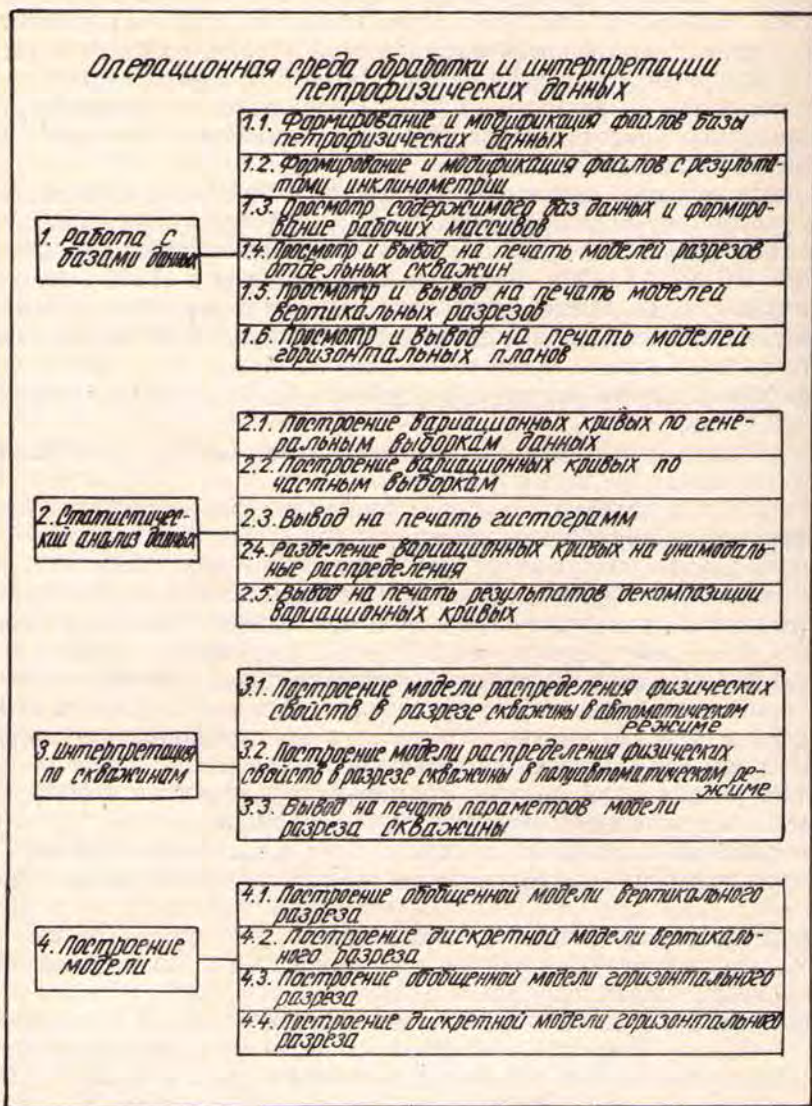


Рис. 1. Структура программного обеспечения автоматизированной системы интерпретации результатов петрофизических исследований

4. Процедуры, обеспечивающие построение моделей распределения физических свойств в плоскости разреза. С помощью программ этой группы пользователь получает возможность построения моделей на экране графического видеомонитора, используя при этом дополнительную информацию по своему усмотрению.

На рис. 2, 3 приведены примеры, иллюстрирующие процесс построения модели распределения удельного электрического сопротивления в плоскости одного из разрезов Озерного медноколчеданного месторож-

дения на Южном Урале средствами программного обеспечения системы «GURZA». Измерения удельного электрического сопротивления образцов керна выполнены сотрудниками кафедры рудной геофизики Уральского горного института.

Статистический анализ генеральной выборки, выполненный программами второй группы (2.1 и 2.4), позволил выделить 4 класса горных пород по удельному электрическому сопротивлению (см. рис. 2, а). Рис. 2, б иллюстрирует принцип формирования графического изображения элементов модели на бумажных носителях.

Для определения общих закономерностей распределения параметра в плоскости разреза его значения обработаны процедурой 4.1.

Результаты обработки, приведенные на рис. 3, а, указывают на главные особенности модели (наличие электропроводной зоны в обрамлении блоков с повышенными значениями удельного электрического сопротивления, ориентировка зоны в плоскости разреза).

Детализация обобщенной модели выполнялась путем построения модели масштаба 1 : 100000 и 1 : 5000. В данном случае масштаб модели определяет степень детальности изучения разреза отдельных

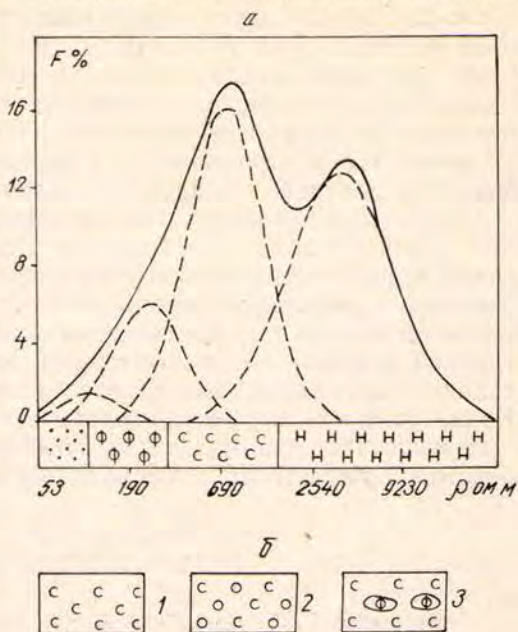


Рис. 2. Выделение физических классов горных пород по удельному электрическому сопротивлению:

а — график функции распределения и границы классов; б — примеры формирования графических изображений элементов модели (1 — породы третьего класса, 2 — равномерное распределение горных пород второго и третьего классов, 3 — преобладание горных пород третьего класса с включениями пород второго класса)

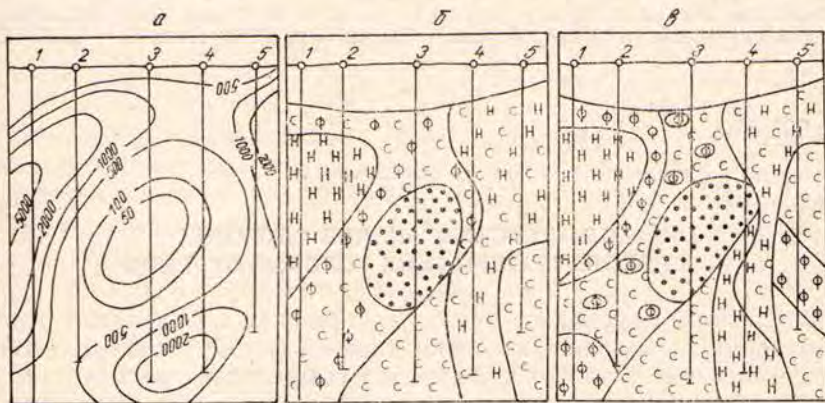


Рис. 3. Формирование модели распределения удельного электрического сопротивления в плоскости вертикального разреза:

а — обобщенная модель разреза; б — модель масштаба 1 : 10 000; в — модель масштаба 1 : 5000. Условные обозначения на рис. 2

скважин, а не изображение модели на чертежах. При построении модели масштаба 1 : 10000 использовались модели разрезов скважин, сформированные процедурой 3.1 при минимальном размере выделяемого элемента

100 м. Масштаб 1 : 5000 определяет минимальный размер выделяемого элемента 50 м. Построение моделей разрезов, изображенных на рис. 3, б и рис. 3, в, производилось с помощью процедуры 4.2. При построении модели масштаба 1 : 10000 корреляция отдельных элементов между соседними скважинами выполнялась с учетом особенностей обобщенной модели. Построение модели масштаба 1 : 5000 производилось с учетом особенностей модели масштаба 1 : 10000. Кроме того, надежность увязки элементов контролировалась определением в каждом случае коэффициента правдоподобия для всех элементов моделей соседних скважин.

Таким образом, автоматизация интерпретации петрофизических данных реализуется за счет создания детерминированных процедур определения физических классов, построения дискретных моделей разрезов скважин, определения характера обобщенной модели разреза. Важным условием является предоставление интерпретатору возможности корректировки результатов компьютерного анализа на всех этапах интерпретации и возможности выбора последовательности выполнения процедур. Кроме того, предлагаемая последовательность построения моделей разных масштабов (от мелких масштабов к более крупным) позволяет в некоторой степени сократить количество возможных вариантов решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вахромеев Г. С., Давыденко Д. Ю. Моделирование в разведочной геофизике.— М.: Недра, 1987.—192 с., ил.
2. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: Справочник геофизика / Под ред. В. И. Дмитриева.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1990.— 498 с., ил.
3. Ломтадзе В. В. Программное обеспечение обработки геофизических данных.— Л.: Недра, 1982.
4. Сапожников В. М. Использование диаграмм каротажа для петрофизического картирования рудовмещающих горных пород: Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений // Межвузовский научно-тематический сборник.— Свердловск, 1977. Вып. 1.— С. 11—19.
5. Серков В. А. Программное обеспечение интерпретации каротажа КС при петрофизическом картировании // Теория, методы интерпретации и математического моделирования геофизических полей.— Свердловск, 1991.— С. 70—76.
6. Сысков С. С. Приближенный способ разделения полимодальных распределений // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений: Межвузовский научно-тематический сборник.— Свердловск, 1984. Вып. 11.— С. 77—82.

УДК 620.550

О. В. Ошкордин

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БУРЕНИЯ

Постепенный переход от сугубо эмпирической технологии разведочного бурения к рациональной, опирающейся на системные закономерности взаимосвязей различных элементов технологии, предполагает, в частности, строгое определение понятия «сложные условия бурения» — одного из ключевых понятий технологии разведочного бурения. Фиксация системных взаимосвязей в этом случае позволяет формализовать разветвленные цепи причинно-следственных связей, осуществлять компьютерное моделирование аномалий технологического процесса и прогнозировать последовательное развитие отклонений от нормального хода технологического процесса бурения, приводящих к технологическому браку, осложнениям и авариям.