

Федеральное агентство по образованию
Дальневосточный государственный технический университет
(ДВПИ им. В.В.Куйбышева)

ПЕТРОФИЗИКА
Методические указания для студентов специальности 080400
«Геофизические методы поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых »

Владивосток 2005

Одобрено научно-методическим советом университета

УДК 550.834

ПЗ1

Петрофизика: метод. указания /Сост. Т.В.Селиванова. — Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2005 .-26с.

Методические указания «Петрофизика» предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности 080400 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

В методических указаниях обобщены и представлены в удобном для учебного процесса по курсу «Физика горных пород» основные требования к отбору образцов горных пород и руд, методика предварительного анализа физических свойств, способы вычисления наиболее распространенных статистических характеристик и возможности их использования при геологической интерпретации результатов петрофизических исследований.

Методические указания могут быть использованы при выполнении практических работ, при подготовке курсовых и дипломных работ (проектов).

Предлагаемая работа подготовлена Т.В.Селивановой.

Печатается с оригинал-макета, подготовленного автором

© Т.В.Селиванова, 2005

© Изд-во ДВГТУ, 2005

Введение

Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых занимают значительную часть в объеме производства геологоразведочных работ. Правильная постановка геофизических методов, а также интерпретация результатов геофизических исследований невозможны при отсутствии сведений о физических свойствах горных пород. Поэтому важное место в комплексе геофизических работ занимают петрофизические исследования.

Изучение физических свойств горных пород начинается с измерения характеризующих их величин (плотности, удельного электрического сопротивления, радиоактивности и т.д.). Измеренные физические величины, количественно оценивающие то или иное свойство породы, обычно тесно связаны друг с другом и обусловлены составом пород. Это позволяет по комплексу измеряемых величин определять тип пород, основные их свойства и характер залегания.

Углубленное исследование физических свойств горных пород с привлечением статистических методов обработки позволяет выявить наиболее общие и типичные черты изучаемой совокупности горных пород в пределах исследуемой площади, что приводит к повышению достоверности результатов и эффективности геофизических методов исследований.

Развитие теории физико-геологического моделирования повысило требования к формированию петрофизических моделей и обусловило совершенствование методов исследования физических свойств горных пород.

В связи с этим появилась необходимость подготовки методического руководства, в котором обобщены и представлены в удобном для учебного процесса виде методики анализа физических свойств горных пород, способы вычисления статистических характеристик и возможности их использования при геологической интерпретации результатов петрофизических исследований.

Данное методическое указание содержит описание требований к отбору образцов горных пород и руд, предназначенных для петрофизических исследований, методики предварительного анализа физических свойств и простейших способов вычисления наиболее распространенных статистических характеристик.

Практическая работа №1

1. Петрофизическое опробование

Информацию о физических свойствах горных пород и полезных ископаемых получают разными способами. Основные из них - лабораторные измерения на образцах, каротаж скважин, параметрические измерения на обнажениях в естественном залегании, интерпретация данных полевых геофизических методов. Каждый из этих подходов имеет свои достоинства и ограничения.

Наиболее широко используют исследования на образцах и каротажные из-

мерения. Они достаточно экспрессивны, и их надежность во многом зависит от количества образцов, радиуса действия каротажной установки и других факторов. Поэтому вопросы теории петрофизического опробования имеют важное значение.

При интерпретации петрофизических данных, полученных только по эталонным выборкам, образцов, как правило, недостаточно. Для снижения неоднозначности определения петрофизических характеристик необходимо максимально точный учет распределения физических свойств в пространстве изучаемого разреза. Результаты лабораторных определений физических свойств образцов в этом случае, как правило, недостаточно представлены. Они характеризуют отдельные, одиночные точки изучаемого объекта. Более полные петрофизические исследования ограничены по экономическим соображениям, а в некоторых случаях невозможностью отбора образцов. К тому же структурно-текстурные особенности геологического разреза определяют частое несоответствие физических свойств, измеренных на образцах и в естественном залегании.

Реальные геологические объекты всегда трехмерны, неоднородны и многопараметровые. Для описания большинства сложных геологических ситуаций целесообразно использовать стохастические (вероятностные) модели [2].

Вероятностный характер рассматриваемых моделей определяется двумя главными факторами - случайностью расположения неоднородностей в объеме объекта и вариациями свойств самих неоднородностей (их размеров, физических и химических параметров).

Стохастические модели геологических сред не исчерпывают всех возможных ситуаций, но они позволяют достаточно корректно аппроксимировать реальные геологические условия, обоснованно выбрать необходимый и достаточный объем единичной пробы, виды анализа.

1.1. Требования к отбору образцов пород и руд для петрофизических исследований

Отбор образцов принято проводить по определенным правилам, с учетом следующих требований:

- образцы отбирают по изучаемому объекту равномерно, как по площади, так и по глубине;
- в коллекции должны быть представлены все литологические разности, картируемые геологами на данной площади;
- для каждой литологической и петрофизической разновидности следует отбирать не менее 20-30 образцов;
- все образцы должны иметь топографическую привязку мест отбора;
- образцы не должны иметь следов механических нарушений;
- размеры образцов должны быть не менее 40x 60x 70 (мм);

- при специальных исследованиях производят отбор ориентированных образцов;
- образцам присваивают определенные номера, под которыми они заносятся в каталог.

Отбор образцов предпочтительно производить по керну скважин, а не из разведочных канав. Это объясняется тем, что образцы керна более предпочтительны, так как не подвергнуты процессам выветривания.

Минимальное количество образцов (N) при петрофизических исследованиях можно оценивать следующим образом: $N = m \cdot n$, где m – количество визуально картируемых литологических разностей на данном объекте, а n – минимальное число образцов, отбираемых для каждой разновидности ($n = 20-30$).

1.2. Подготовка образцов к лабораторным петрофизическим измерениям

В первую очередь образцы горных пород маркируются, проходят более тщательное геологическое описание. После этого изучают физические характеристики образцов, которые не требуют специальной подготовки к измерениям – такие как плотность, магнитная восприимчивость, естественная радиоактивность и др. Далее образцы готовят к измерениям, распиливают с целью придания им правильной геометрической формы, насыщают минерализованными растворами, сушат, а также проводят другие подготовительные процедуры. Остатки образцов после распиловки дробят для определения минералогической плотности, общей пористости и т.д.

Изучение ряда физических свойств, таких как удельное электрическое сопротивление, вызванная поляризация, скорость упругих волн и др., требует специальной подготовки образцов. Например, для измерения электрических характеристик, для обеспечения надежных электрических контактов и снижения переходных сопротивлений на границе «электрод – горная порода» образец должен иметь два плоскопараллельных среза, через которые осуществляется электрический контакт с образцом. Наличие таких плоских поверхностей также позволяет определить площадь поперечного сечения образца и его длину. Эти параметры нужны для расчета удельного электрического сопротивления. Насыщение образцов различными минерализованными растворами необходимо с целью имитации природных условий.

Методические указания к выполнению практической работы

1. Из общего объема образцов отобрать горные породы, соответствующие требованиям.
2. Используя горный компас, провести на плоскости маркировки линии падения и простирания.
3. Измерить элементы залегания плоскости маркировки образца.

4. Записать элементы залегания на образце и в полевом дневнике.

Контрольные вопросы

1. Перечислите четыре основных способа получения информации о физических свойствах горных пород и полезных ископаемых, их достоинства и недостатки.
2. Что понимают под термином «стохастическая модель геологического объекта сложного строения»?
3. Перечислите и поясните требования, предъявляемые к отбору образцов горных пород и руд для петрофизических измерений.
4. Каким образом осуществляют подготовку образцов горных пород к лабораторным петрофизическим исследованиям?

Практическая работа №2

2. Предварительный анализ физических свойств образцов горных пород

В геологическом строении Приморского края представлен сложный комплекс пород разного возраста, состава структурно-текстурных особенностей и, соответственно, физических характеристик. Для изучения физических свойств горных пород Приморья были рассмотрены петрофизические характеристики геологических комплексов (свит, толщ) по отдельным тектоническим зонам (прил.).

Методика, техника измерений и точность определения каждого из рассматриваемых физических параметров соответствовали регламентирующим положениям. Плотность горных пород (σ) определялась способом гидростатического взвешивания воздушно-сухих непарафинированных образцов на весах ВНЦ-200 и БЛКТ-500, реже - на денситометрах. Естественная остаточная намагниченность (J_n) изучалась с помощью астатических магнитометров М-14Ф, МА-21. Магнитная восприимчивость () измерялась как указанными магнитометрами, так и, главным образом, прибором ИМВ-2. Удельное электрическое сопротивление (ρ) определялось по результатам измерений предварительно замоченных в воде образцов на четырехэлектродной симметричной установке, работавшей в комплексе с серийным электроразведочным автокомпенсатором АЭ-72 и миллиамперметром для измерения силы тока. Поляризуемость (η) измерялась также на предварительно замоченных образцах с помощью установки, изготовленной на базе автокомпенсатора АЭ-72 и блока неполяризующихся электродов.

Качество лабораторных измерений, приведенных в приложении, оценивалось по данным внутреннего контроля в количестве 5-10% образцов от их общего объема. Средняя квадратическая ошибка определений составляет: для плотности не более $0,02 \text{ г/см}^3$; для магнитных параметров 3-20 %; для удельного электрического сопротивления и поляризуемости 10-30 %.

В приложении приведены физические свойства горных пород на основе информации, собранной сотрудниками Института тектоники и геофизики ДВО

РАН.

Методические указания к выполнению практической работы

1. Для установления характера поведения физических свойств горных пород для исследуемой свиты Приморья необходимо результаты анализов по каждому измеренному параметру представить в виде, удобном для сравнения. Исходные данные (см. прил. 1) можно записать в виде числовых диаграмм «стебель с листьями» и построить по ним схематические диаграммы «ящик с усами». «Стеблем» числовой диаграммы являются повторяющиеся части чисел, а «листьями» - оставшиеся их части. При решении вопроса о том, какую часть выделить в «стебель», необходимо первоначально определить общий размах варьирования данного параметра по всему объему рассматриваемых образцов. По схематическим числовым диаграммам можно легко найти максимальное и минимальное значения, медиану и так называемые «сгибы», т.е. середины интервалов от медианы до минимального и максимального значений. Медиану находят путем отсчета от начала или конца «стебля» половины всего количества «листьев», а положение «сгибов» определяют путем отсчета от медианы в сторону минимального и максимального значений числа «листьев», равного $\frac{1}{4}$ от их общего количества. Интервал между «сгибами» изображается в виде прямоугольника («ящика»), а интервалы от «сгибов» до максимального и минимального значения – в виде прямых линий («усов»). Изображенные схематические диаграммы для каждого физического параметра позволяют судить о характере петрофизических свойств горных пород исследуемой зоны.
2. Для выявления отличительных особенностей физических свойств горных пород указанных зон необходимо поместить диаграммы отдельно по каждому физическому параметру для всех анализируемых зон на одном графике в одинаковом масштабе.
2. Схематические диаграммы можно использовать и для выделения комплексов пород, сходных по физическим свойствам. Для этого необходимо провести комплексный анализ построенных в п. 2 диаграмм по всем петрофизическим характеристикам горных пород рассматриваемых зон. Для выполнения данной практической работы необходимо построить «ящик» для двух заданных петрофизических групп и выполнить их сравнительный анализ.

Контрольные вопросы

1. Как определяется плотность горных пород?
2. Что такое магнитная восприимчивость горных пород?
3. Что такое удельное электрическое сопротивление?
4. Что такое поляризуемость горных пород?
5. Что такое рядовые и контрольные измерения?
6. Что называется медианой?

Практическая работа №3

3. Статистическая обработка петрофизических данных

Углубленное исследование физических свойств горных пород с привлечением статистических методов обработки приводит к достоверности результатов и эффективности геофизических методов исследования.

Статистическая обработка петрофизических данных состоит из двух основных этапов - из предварительной обработки, заключающейся в составлении исходной документации, и математической обработке, включающей в себя выделение петрофизических групп, построение кривых распределения, подсчет статистических параметров, определение характера связи между свойствами.

Достоверная оценка физических свойств горных пород может производиться только на основе их многочисленных определений. Обобщение и анализ получаемых данных с применением методов математической статистики позволяет установить наиболее вероятные значения измеряемых величин и степень их достоверности.

Основой статистического анализа является статистическое группирование, которое производится с учетом геологических факторов, петрофизической и минералогической характеристик, возраста горных пород.

При статистической обработке всегда приходится иметь дело с выборкой (ограниченным числом определений). Выборки с числом членов более 30 условно называются большими, менее 30 – малыми.

Точность измерений физических свойств горных пород зависит от величины систематических и случайных ошибок. Систематические ошибки связаны с дефектом прибора или с неправильностью методики определения и при тщательном их анализе могут быть устранены. Для оценки случайных ошибок измерений физических параметров проводятся повторные измерения в 5%-ом объеме от общего количества. Для оценки случайных ошибок вычисляется среднеквадратическая ошибка измерений:

$$S = \sqrt{\sum (x_1 - y_2)^2 / 2N} \quad (1)$$

и среднеарифметическая ошибка:

$$Q = \sum |x_i - y_i| / 2N, \quad (2)$$

где X, Y – основные и повторные измерения, N – количество повторных замеров.

Для выяснения распределения физического параметра используется вариационный ряд, где каждому значению интервала изменения параметра (ΔX) соответствует определенная повторяемость или частота (ΔN).

При составлении вариационного ряда необходимо определить следующие параметры:

1. Интервал изменения параметра (ΔX).

Выбор интервала ΔX осуществляется в зависимости от погрешности изме-

рений, количества определений, характера распределения и диапазона измерения параметра X. Ширина интервала (ΔX) определяется по формуле:

$$\Delta X \geq \frac{x_{\max} - x_{\min}}{A}, \quad (3)$$

где A - число интервала, которое при величине выборки меньше 30 принимается равным 4; x_{\min} и x_{\max} - соответственно минимальное и максимальное значение параметров. При выборе ширины интервала необходимо, чтобы $\Delta X \geq 2\sigma_{\text{ср}}$;

2. Для каждого выделенного интервала необходимо определить частоту (ΔN_i), равную количеству замеров, величина которых соответствует выбранному интервалу;

3. Частость - отношение частоты к общему количеству замеров, выраженное в процентах - $\Delta N_i |n \cdot 100\%|$;

4. Накопление частоты ($\sum \Delta N_i$);

5. Накопление частости ($\sum \Delta N_i n \cdot 100\%$).

На основании параметров вариационного ряда может быть построена вариационная кривая и гистограмма.

Гистограмма - это ступенчатая кривая, состоящая из прямоугольников, ограниченных по оси абсцисс интервальными значениями параметра и имеющая ординаты, равные значениям относительной частости в процентах. Вариационная кривая - плавная кривая, соединяющая средние точки ступеней гистограммы.

Достаточно однородным выборкам соответствуют, как правило, одномодальные плавные кривые. При неоднородных выборках, что соответствует ошибочному объединению различных петрофизических групп, необходимо провести разделение анализируемой выборки на группы по какому-либо признаку и повторить построение вариационных кривых для каждой новой группы.

Построенные вариационные кривые подлежат анализу с целью нахождения вероятностного закона распределения изучаемого физического параметра. Наиболее распространенными законами распределения петрофизических характеристик являются нормальное и логарифмически нормальное распределение. Для оценки закона распределения следует построить кумулятивную кривую, или кривую накопленных частостей, на трафарете Н.К. Разумовского. По оси абсцисс трафарета в масштабе откладывают значение изучаемого параметра, по оси ординат - значение накопленной частости. По этим точкам строят кумулятивную кривую, соответствующую практическому графику накопленных частостей.

Далее строят теоретический график накопленных частостей. Для этого проводят осредняющую прямую по практическим точкам. Оценку гипотезы нормальности проводят по величине максимального расхождения между теоретическим и практическими графиками накопленных частостей ($D, \%$). С этой целью используют критерий А.Н. Колмогорова λ , который вычисляется по формуле:

$$\lambda = \frac{\Delta y \sqrt{n}}{100}, \quad (4)$$

где λ – критерий Колмогорова, n – объем выборки, Dy – максимальная разность накопленных частот между эмпирической точкой и соответствующей точкой на осредненном графике.

Если $\lambda \leq 1,358$, то считается, что распределение выборки соответствует нормальному распределению.

В случае нормального закона распределения среднее значение \bar{X} соответствует максимуму вариационной кривой и называется модой - M , т.е. наиболее часто встречаемым значением в данной выборке.

При нормальном распределении стандартное отклонение определяется на уровне 0,067 максимума вариационной кривой по значениям X_1 и X_2 как

$$S = \frac{x_1 - x_2}{2}. \quad (5)$$

После уточнения правильности выделенных петрофизических групп вычисляются их обобщающие показатели, такие как:

1) среднеарифметическая величина, являющаяся наиболее вероятным значением измеряемого с одинаковой степенью точности параметра:

$$\bar{x} = 1/n \sum_{i=1}^h x_i \cdot n_i, \quad (6)$$

где x_i – среднее значение интервала группирования, n_i – число измерений параметра, попадающих в определенный интервал; n – общее число измерений.

Надежность определения среднего арифметического характеризуется ошибкой среднего арифметического, которое вычисляется по формуле:

$$G_{cp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (7)$$

Если $n \rightarrow \infty$ величина, то σ_{cp} стремится к нулю, т.е. чем больше измерений, тем более точно определяется среднее арифметическое значение;

2) дисперсия, которая характеризует величину отклонения отдельных значений от среднего и отличия значений друг от друга, т.е. размер вариации параметра: $D = \sum (x_i - \bar{x})^2 / N$;

3) мода, характеризующая наиболее часто встречающиеся значения физического параметра:

$$M_0 = \frac{\Delta x (\Delta N_1 - \Delta N_2)}{\Delta N_1 - 2\Delta N_2 + \Delta N_3}, \quad (8)$$

где x_0 – начало модального интервала, Δx – ширина интервала, ΔN_1 , ΔN_2 , ΔN_3 – частоты значений предмодального, модального, послемодального интервалов.

В случае нормального распределения значение моды и средней арифметической совпадут;

4) среднее квадратическое отклонение или стандарт, рассчитывается с целью оценки разброса отдельных значений около среднего, т.е. для характеристики степени неоднородной породы. Он вычисляется по формуле:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad (9)$$

5) коэффициент вариации, который используется для характеристики меры разброса:

$$K = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Среднее значение параметра, характеризующее несколько групп, объединяемых по каким-либо литолого-петрографическим признакам, вычисляется как среднее взвешенное из средних арифметических отдельных групп с учетом их процентного соотношения. Например, для толщ, состоящих из нескольких пластов, среднее взвешенное определяется следующим образом:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{x}_i h_i)}{\sum_{i=1}^m h_i}, \quad (11)$$

где h_i – мощность пласта со средним арифметическим параметром \bar{x}_i , m – число пластов.

Ошибка определения среднего взвешенного, найденного для нескольких групп, вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\text{ср}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m M_i^2 s_{\text{ср}i}^2}, \quad (12)$$

где $\sigma_{\text{ср}}$ – среднее квадратическая ошибка среднего арифметического для i -й группы, $M_i = \frac{h_i}{H}$ – статистический вес i -й группы, H – суммарная мощность всей исследуемой толщи.

Методические указания к выполнению практической работы

При выполнении практической работы каждому студенту необходимо статистически обработать данные о физических свойствах тех же петрофизических групп пород, которые были использованы в практической работе №2.

Для этого требуется:

1. Определить величину среднее квадратической и среднеарифметической ошибок измерений;
2. Составить вариационный ряд распределения физического параметра;
3. Построить вариационную кривую, гистограмму и кривую накопленных частот;
4. Определить правильность выделения петрофизической группы и установить за-

- кон распределения физического параметра;
5. Вычислить обобщающие показатели характера распределения физического параметра, среднеарифметическую величину, дисперсию, моду, стандарт, коэффициент вариации;
 6. Определить средневзвешенное значение параметра для объединенных групп пластов, по заданным параметрам их мощности;
 7. Сравнить результаты статистической обработки физических свойств горных пород предложенных свит;
 8. Выполнить сравнение полученных результатов в практических работах №2 и №3.

Контрольные вопросы

1. С какой целью строятся вариационные кривые относительных частот измеренного физического параметра? По каким правилам при этом выбирают ширину интервала группирования изучаемого физического параметра?
2. Чем гистограмма распределения измеренного параметра отличается от вариационной кривой относительных частот того же параметра?
3. В чем отличие одномодальных вариационных кривых от полимодальных? Что они отражают?

Практическая работа № 4

4. Установление взаимосвязи между физическими параметрами горных пород

В изменении физических параметров горных пород наблюдается определенная согласованность. Проявляется она в том, что породам определенного состава соответствует вполне конкретное сочетание физических параметров и изменение одного из них может повлечь за собой пропорциональное изменение другого.

Взаимосвязи между физическими параметрами пород, а также между физическими параметрами и другими свойствами породы носят статистический, корреляционный характер. Корреляционная зависимость существует между величинами в том случае, если изменение одной величины вызывает изменение закона распределения другой.

Статистические зависимости удобно представлять в виде полей корреляции. Координатами такого поля являются значения коррелируемых параметров. Результаты измерений физических параметров могут быть представлены в виде точек корреляции или как некоторые области, в которые попадают все или большинство измеренных значений. Неизометричность области точек корреляции указывает на тесноту корреляционной зависимости: чем более вытянута эта область, чем ближе точки корреляции к линии, тем теснее связь, тем меньше в ней элементов случайности и тем ближе она к функциональной.

Определение коррелируемости геофизических полей

Объективной количественной характеристикой связи между явлениями служит так называемый коэффициент корреляции. При однозначной функциональной связи между двумя явлениями коэффициент корреляции равен единице. При коэффициенте более 0,5 связь между явлениями существенна, но не вполне однозначна. Коэффициент корреляции менее 0,5 указывает на слабую связь между величинами. Полное отсутствие взаимной зависимости между величинами выражается коэффициентом корреляции, равным 0.

Если при увеличении параметра a средние значения соответствующих совокупностей значений b тоже возрастают, то корреляция положительная. Если, наоборот, при возрастании a средние значения b убывают, то корреляция отрицательная.

Для ручного счета удобно применять простой графический способ вычисления коэффициента корреляции (Карлье, 1966; Крамер, 1948). В декартовой системе координат строится поле корреляций, в котором каждая точка соответствует паре значений a и b .

Затем через точку с координатами

$$y = \frac{\sum a}{n} \quad \text{и} \quad x = \frac{\sum b}{n} \quad (13)$$

проводят линии, параллельные осям координат, которые образуют четыре квадранта.

Обозначим символом N_1 суммарное число точек в квадрантах I и III, а символом N_2 – число точек в квадрантах II и IV.

Приближенное значение коэффициента корреляции находим по формуле:

$$\tau = \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}\right).$$

(14)

Вычисление значения относится в середине исследуемого интервала.

Методические указания к выполнению практической работы

1. В декартовой системе координат построить поле корреляции, где каждой точке соответствуют значения исследуемых физических параметров.
2. Рассчитать по формулам (13) координаты точки, через которые проводят линии, параллельные осям координат.
3. Рассчитать по формуле (14) коэффициент корреляции между исследуемыми физическими параметрами горных пород.

Контрольные вопросы

1. Что называется корреляционной зависимостью физических параметров горных пород?

2. Что называется полем корреляции?
3. Где выше коэффициент корреляции - в случае изометричной или линейной формы области распределения точек корреляции?
4. Как меняется значение коэффициента корреляции при увеличении связи между физическими параметрами горных пород?
5. Что такое положительная корреляция?

Приложение

Результаты измерения петрофизических характеристик проб горных пород Приморья

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
Южно- Приморская зона								
Дорофеевская свита	K ₂ gr	Андезиты, их туфы, туфоконгломераты, туфоалевролиты, туфы липаритов	1	2,04	610	2710	1000	0,4
			2	2,94	200	9000	1000	5,6
			3	2,28	890	3000	1500	2,0
			4	2,30	950	5000	2000	0,5
			5	2,12	610	2910	1850	4,8
			6	2,17	700	2770	1780	2,0
			7	2,60	750	2600	2100	2,9
			8	2,54	890	9010	1000	3,5
			9	2,38	700	3000	1250	5,6
			10	2,86	610	5000	2000	0,4
			11	2,14	920	2800	1850	0,2
			12	2,22	1050	2900	1300	4,8
			13	2,42	2010	3000	1400	2,9
			14	2,75	800	2750	1000	5,6
			15	2,80	970	2760	1610	0,4
Соколовская свита	K ₁ S _k	Песчаники, алевролиты, конгломераты	1	2,40	5	1	1000	0,4
			2	2,40	5	1	1000	0,4
			3	2,40	5	1	1000	0,4
			4	2,77	45	4	1200	4,2
			5	2,58	14	45	1200	2,4
			6	2,60	10	20	1000	3,0
			7	2,50	15	30	1800	3,5
			8	2,54	20	10	1100	1,8
			9	2,45	35	15	1200	4,0
			10	2,68	41	5	1500	3,0
			11	2,60	25	1	1550	0,5
			12	2,60	20	4	1100	0,9
			13	2,40	15	5	1200	1,0
			14	2,77	10	10	1300	1,2
			15	2,70	5	45	1400	1,0

Продолжение приложения

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
Ключевская свита	К ₁ kl	Песчаники, алевролиты, гравелиты, кремнистоглинистые породы, линзы угля	1	2,40	5	1	200	0,5
			2	2,77	48	53	300	4,1
			3	3,62	16	8	500	1,5
			4	2,50	20	20	100	3,0
			5	4,78	32	30	200	2,0
			6	2,50	38	45	150	1,0
			7	2,60	10	1	300	0,8
			8	2,60	15	5	250	2,0
			9	2,55	5	10	200	3,0
			10	2,41	22	15	300	4,0
			11	2,40	28	40	100	0,8
			12	2,60	5	1	100	1,0
			13	2,85	10	10	120	1,5
			14	2,38	15	15	150	1,0
			15	2,40	45	30	100	2,0
Погская свита	J ₃ rg	Базальты, их туфы, алевролиты, туфоконгломераты	1	2,55	200	10	100	0,4
			2	2,90	2345	705	120	4,1
			3	2,68	660	280	180	1,5
			4	2,60	1000	10	200	0,5
			5	2,70	1500	50	350	0,9
			6	2,85	1000	10	100	1,2
			7	2,72	800	200	150	4,2
			8	2,80	100	600	210	3,8
			9	2,90	500	10	240	2,4
			10	2,60	800	700	420	3,1
			11	2,60	1000	400	80	2,8
			12	2,75	1500	420	140	0,9
			13	2,65	500	300	120	1,8
			14	2,90	100	10	150	2,1
			15	2,55	500	50	200	2,5
Окраинская свита		Алевролиты, песчаники, туфы среднего и основного состава, известняки	1	2,12	50	10	100	0,6
			2	2,92	400	200	400	2,0
			3	2,60	200	48	120	2,5
			4	2,68	80	20	180	1,0
			5	2,72	100	40	220	2,0
			6	2,20	90	50	360	1,0

Продолжение приложения

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
			7	2,25	150	10	400	1,5
			8	2,42	400	100	100	1,8
			9	2,34	50	180	320	1,2
			10	2,85	110	200	210	2,0
			11	2,86	20	120	200	0,9
			12	2,78	100	40	100	1,0
			13	2,12	250	60	360	2,5
			14	2,72	400	10	400	1,0
			15	2,22	80	200	100	1,5
Извилинская свита		Слюдистые песчаники, алевролиты, известняки, туфопесчаники	1	2,51	1	40	100	2,0
			2	2,70	20	10	120	2,4
			3	2,62	9	15	80	4,0
			4	2,58	12	30	70	3,2
			5	2,69	8	20	100	2,0
			6	2,70	4	40	110	1,8
			7	2,58	12	12	140	2,1
			8	2,60	17	18	160	1,6
			9	2,68	20	20	80	2,1
			10	2,62	4	40	190	2,4
			11	2,52	6	50	200	3,0
			12	2,55	1	40	100	2,0
			13	2,57	18	28	95	1,8
			14	2,51	17	23	100	4,0
			15	2,60	20	20	80	1,6
Зона Ханкайского массива								
Реттиховская свита	O-S	Алевролиты, глинистые сланцы, песчаники	1	2,45	1	9	2000	0,2
			2	2,82	12	10	1500	0,5
			3	2,68	40	20	1000	1,0
			4	2,50	20	5	1200	1,1
			5	2,58	15	10	1000	0,8
			6	2,70	5	12	1400	0,7
			7	2,80	25	15	1300	1,4
			8	2,75	28	40	1000	1,8
			9	2,50	35	20	9000	0,2
			10	2,52	38	5	2000	0,5
			11	2,45	40	12	1800	1,0

Продолжение приложения

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
			12	2,68	20	15	1200	1,1
			13	2,75	5	9	1500	0,8
			14	2,58	25	10	1400	0,7
			15	2,75	28	40	1300	1,4
Дауби-хезская свита	O-Sdb	Песчаники, гравелиты, конгломераты	1	2,52	1	6	800	1,2
			2	2,68	10	1	600	1,4
			3	2,88	40	10	400	1,5
			4	2,60	15	5	500	1,9
			5	2,62	12	10	800	2,0
			6	2,58	38	6	850	2,4
			7	2,54	25	1	480	1,2
			8	2,78	12	2	560	1,4
			9	2,72	5	4	800	1,9
			10	2,80	10	5	770	1,2
			11	2,85	11	6	420	2,0
			12	2,68	28	10	850	2,1
			13	2,78	35	1	600	2,5
			14	2,58	40	10	400	2,0
			15	2,60	1	5	480	1,2
Дмитриевская свита	C ₁ Lm	Известняки, глинистые сланцы	1	2,45	1	68	400	1,5
			2	2,91	20	10	800	1,0
			3	2,73	5	12	500	2,0
			4	2,52	5	5	450	2,2
			5	2,94	18	10	620	2,1
			6	2,71	6	18	500	2,8
			7	2,48	7	7	400	1,2
			8	2,84	2	2	450	0,9
			9	2,50	17	17	600	1,0
			10	2,90	8	8	650	1,5
			11	2,76	18	18	550	1,0
			12	2,50	5	5	450	2,0
			13	2,82	1	1	620	2,2
			14	2,50	4	4	500	2,4
			15	2,90	8	8	400	1,1

Продолжение приложения

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
Светлоярская свита	С ₁₋₂ S _J	Липариты, их туфы, дациты, игнимбриты, туфоконгломераты, туфопесчаники, туффиты	1	2,49	30	40	6000	0,2
			2	2,75	40	45	4000	0,5
			3	2,60	20	35	6500	1,0
			4	2,51	50	25	5000	0,8
			5	2,68	35	40	5500	0,7
			6	2,64	25	45	6000	0,4
			7	2,50	45	35	6500	0,4
			8	2,52	20	30	4500	0,7
			9	2,64	20	15	4000	0,8
			10	2,55	25	20	5000	0,9
			11	2,70	40	35	6000	1,0
			12	2,64	30	40	6500	1,1
			13	2,50	35	45	6000	0,8
			14	2,52	50	25	4000	0,4
			15	2,70	20	30	6500	0,5
Петрозевская свита	K _{рзр}	Песчаники, алевролиты, туфиты, туфы кислого и среднего состава, конгломераты	1	2,42	1	1	6000	0,2
			2	2,87	12	12	4500	0,8
			3	2,60	100	100	6500	1,7
			4	2,45	15	15	4000	1,0
			5	2,70	18	18	3800	1,8
			6	2,60	70	70	6000	1,1
			7	2,48	60	60	4500	0,8
			8	2,87	70	70	6500	0,9
			9	2,60	80	80	4000	0,5
			10	2,55	100	100	3500	0,5
			11	2,58	95	95	6000	0,2
			12	2,46	60	60	4000	0,2
			13	2,45	80	80	4500	1,0
			14	2,42	10	10	6000	0,2
			15	2,45	12	12	6000	1,7
Журавлевская свита	K ₁ Z _г	Алевролиты, песчаники, кремнистоглинистые породы, конгломераты, туфы	1	2,23	1	18	3700	0,4
			2	2,98	10	20	4000	5,6
			3	2,55	15	15	2900	2,45
			4	2,40	20	10	2500	0,4
			5	2,95	8	10	3200	0,8
			6	2,60	4	40	4100	0,8
			7	2,32	10	8	2800	5,0

		андезитов	8	2,46	10	12	3700	2,2
--	--	-----------	---	------	----	----	------	-----

Продолжение приложения

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
			9	2,60	80	30	4000	0,5
			10	2,55	100	25	3500	0,5
			11	2,58	95	12	6000	0,2
			12	2,45	80	12	45000	1,0
			13	2,55	18	8	3700	1,2
			14	2,60	20	12	4100	0,9
			15	2,48	18	20	2800	0,8
Горбушинская свита	J _{2-3qr}	Алевролиты, песчаники, кремнистые породы, конгломераты	1	2,45	10	1	5000	0,5
			2	2,73	12	2	5000	2,1
			3	2,58	30	4	4500	2,5
			4	2,50	25	8	4800	1,1
			5	2,55	31	10	5100	1,0
			6	2,688	18	15	5000	0,9
			7	2,71	20	20	5500	0,8
			8	2,48	25	14	4200	2,0
			9	2,45	30	11	4700	1,8
			10	2,70	18	12	4600	1,7
			11	2,60	35	13	4500	1,4
			12	2,58	25	1	4800	1,2
			13	2,50	20	8	5000	2,5
			14	2,71	12	10	51000	2,1
			Эрдэгоская свита		Алевролиты, песчаники, кремни, туфы	1	2,43	30
2	2,98	40				15	4500	0,9
3	2,59	150				20	4100	1,0
4	2,40	100				26	3900	1,2
5	2,80	15				12	4000	1,4
6	2,73	30				9	4100	1,5
7	2,80	35				10	4500	1,8
8	2,51	40				13	3900	1,6
9	2,70	80				11	3800	0,8
10	2,45	75				12	4200	1,0
11	2,77	110				20	4300	1,1
12	2,59	120				12	4400	1,4
13	2,60	40				15	4500	0,9
14	2,64	30				10	3800	1,0

			15	2,80	40	9	4000	0,5
--	--	--	----	------	----	---	------	-----

Продолжение приложения

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
Тетюхинская свита		Известняки, алевролиты, кремнистые породы, брекчии, диабазы	1	2,42	10	1	6000	0,1
			2	2,83	1	4	6000	0,1
			3	2,62	15	5	5900	1,4
			4	2,50	20	10	5800	1,3
			5	2,48	12	2	6500	0,1
			6	2,62	25	3	6300	0,2
			7	2,80	28	8	5700	1,5
			8	2,75	30	9	5900	1,4
			9	2,48	40	10	6000	2,0
			10	2,52	1	5	6400	2,2
			11	2,50	5	4	6500	2,4
			12	2,83	8	3	6300	2,8
			13	2,50	20	2	6200	3,2
			14	2,42	15	1	5800	1,2
			15	2,62	10	10	5700	1,0
Зордовская свита	С-Pzr	Известняки	1	2,45	40	1	9000	1,0
			2	2,74	30	5	9100	1,1
			3	2,63	38	10	8900	2,0
			4	2,48	28	20	9500	1,8
			5	2,50	42	15	9300	1,4
			6	2,52	488	12	8900	1,0
			7	2,58	33	13	8800	1,2
			8	2,48	28	8	9200	1,4
			9	2,70	41	10	8950	2,0
			10	2,65	46	12	8850	2,1
			11	2,68	29	9	9000	2,2
			12	2,50	30	20	9100	1,0
			13	2,51	38	15	9300	1,1
			14	2,52	30	16	9450	1,2
			15	2,63	40	18	9500	1,8
Сихотэ-Алинский вулканический пояс								
Совгаванская свита		Базальты, андезитобазальты, галечники	1	1,77	100	4800	7000	0,8
			2	2,84	150	3200	8100	0,9
			3	2,56	600	3850	6800	1,0
			4	2,77	480	4100	6500	1,2

	ки, гравий- ники, пески	5	2,80	520	4200	7100	2,0
		6	2,82	280	4500	7500	2,8

Продолжение приложения

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
			7	2,58	320	4550	7200	1,4
			8	2,60	400	4200	6900	2,0
			9	2,65	600	3800	6880	0,9
			10	2,70	550	3650	6550	0,8
			11	2,75	420	4000	7110	1,1
			12	2,78	340	3250	7200	1,2
			13	2,80	180	3800	6800	1,4
			14	2,82	200	4000	7500	2,0
			15	2,84	220	4100	6900	2,8
Богоспольская свита		Липариты, дациты, туфы, игнимбриты	1	1,85	180	600	6340	1,0
			2	2,80	200	660	6100	2,0
			3	2,42	220	550	5900	1,8
			4	1,90	150	580	6800	1,6
			5	2,12	190	620	6100	1,5
			6	2,48	200	650	6200	2,0
			7	2,52	210	600	5900	1,9
			8	1,95	220	570	5800	2,1
			9	1,88	250	590	5400	2,2
			10	1,95	180	580	5500	1,4
			11	2,45	170	600	5800	1,2
			12	2,42	200	610	5000	1,4
			13	2,22	210	680	6100	1,8
			14	1,90	220	620	6150	1,9
			15	2,48	150	600	6100	2,0
Приморская серия	К ₂ рг	Туфы и игнимбриты липаритов, липарито-дациты, туффиты, туфопесчаники, андезиты	1	2,04	100	300	3000	0,1
			2	2,98	180	290	3200	0,2
			3	2,48	150	270	3100	0,4
			4	2,10	200	250	2900	0,5
			5	2,15	210	310	2950	1,0
			6	2,25	220	240	2850	1,1
			7	2,32	90	250	2800	1,2
			8	2,40	110	260	3000	1,5
			9	2,41	120	270	3100	1,6
			10	2,13	130	280	3150	1,9
			11	2,15	140	290	3200	1,0

			12	2,10	150	300	3100	0,9
			13	2,98	170	290	2800	0,8

Окончание приложения

Наименование свиты, толщи, комплекса	Возраст	Вещественный состав	№ измерения	Плотность (г/см ³)	Магнитная восприимчивость (1,3·10 ⁻⁵)	Естественная намагниченность (10 ⁻³ А/М)	Электрическое сопротивление (Ом·м)	Поляризуемость (%)
			14	2,05	180	240	3000	1,2
			15	2,45	200	260	2900	1,1
Максимовская свита	Р ₃ -N _{1m} k	Песчаники, алевролиты, аргиллиты, угли, конгломераты	1	1,34	75	10	100	1,0
			2	2,75	85	11	80	1,2
			3	2,25	90	12	70	1,4
			4	1,88	85	15	60	1,3
			5	1,72	100	9	75	0,9
			6	1,42	120	8	88	1,1
			7	1,52	60	20	100	1,2
			8	2,00	65	18	110	1,4
			9	2,10	70	14	120	1,5
			10	2,15	90	12	90	1,8
			11	2,42	120	9	85	2,0
			12	2,54	85	10	70	2,1
			13	1,48	70	12	88	1,9
			14	1,72	120	8	60	1,8
			15	2,00	100	20	70	2,0

Библиографический список

1. *Виноградов В.Г., Дахнов А.В., Пацевич С.Л.* Практикум по петрофизике: Учеб. пособие для вузов. - М.: Недра, 1990. - 227 с.
2. *Добрынин В.М., Вендельштейн Ю.Ю., Кожевников Д.А.* Петрофизика. - М.: Недра, 1991. - 368 с.
3. *Кобранова В.Н.* Петрофизика. - М.: Недра, 1968. - 224 с.
4. Палеомагнитология /Под ред. А.Н. Храмова. - Л.: Недра, 1982. - 346 с.
5. *Пархоменко Э.И.* Геоэлектрические свойства минералов и горных пород при высоких давлениях и температурах. - М.: Недра, 1989. - 198 с.
6. Петрофизика: Справочник: В 3 кн./Под ред. Н.Б. Дортман, А.А. Молчанова. - М.: Недра, 1992. Кн. 1: Горные породы и полезные ископаемые 391 с.; Кн. 2: Техника и методика исследований. 256 с.; Кн. 3: Земная кора и мантия. - 286 с.
7. *Ржевский В.В., Новик Г.Я.* Основы физики горных пород. - М.: Недра, 1984. - 359 с.
8. *Романовский Н.П., Каретников А.С.* Петрофизическая изученность Дальнего Востока// Проблемы петрофизики Дальнего Востока. [Препр.] Хабаровск: ДВНЦ АН СССР, 1978. - С. 3-24.
9. Руководство к лабораторным работам по курсу «Петрофизика»/В.Н. Кобранова, С.Л. Пацевич, А.В. Дахнов, Б.И. Извеков. - М.: Недра, 1982. - 216 с.
10. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): Справочник геофизика. - М.: Недра, 1994. - 456 с.
11. Физические свойства минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах: Справочник. - М.: Недра, 1988. - 253 с.
12. *Элланский М.Н.* Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики. - М.: Недра, 1978. - 212 с.

Содержание

Введение.....	3
1. Практическая работа №1	
Петрофизическое опробование.....	3
1.1. Требования к отбору образцов пород и руд для петрофизических исследований.....	4
1.2. Подготовка образцов к лабораторным петрофизическим измерениям.....	5
2. Практическая работа №2	
Предварительный анализ физических свойств образцов горных пород.....	6
3. Практическая работа №3	
Статистическая обработка петрофизических данных.....	8
4. Практическая работа №4	
Установление взаимосвязи между физическими параметрами горных пород.....	12
Определение коррелируемости геофизических полей.....	13
Приложение.....	15
Библиографический список	24

Петрофизика
Методические указания для студентов
специальности 080400
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»

Составила: Т.В.Селиванова

Редактор Л.Ф.Юринова
Техн.редактор Н.М.Белохонова

Подписано в печать Формат 60x84/16
Усл.печ. 1,63 Уч.изд. 1,12
Тираж 100 экз. Заказ

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10