

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)

Определение удельного электрического сопротивления и акустических свойств горных пород

Методические указания

Ухта, УГТУ, 2014

УДК 552:534.222.2 (076.5)

ББК 26.31 я7

П 31

Печерин, В. Н.

П 31 Определение удельного электрического сопротивления и акустических свойств горных пород [Текст] : метод. указания / В. Н. Печерин, Н. П. Демченко. – Ухта : УГТУ, 2014. – 23 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Петрофизика», «Физика горных пород», «Моделирование в петрофизике» для студентов специальности «Технология геологической разведки». Специализации – «Геофизические информационные системы», «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

Методические указания рассматривают основные методы исследования удельного электрического сопротивления и распространения упругих акустических волн в горных породах в лабораторных условиях с применением современной аппаратуры и оборудования.

Работа выполнена в рамках реализации проекта по подготовке высококвалифицированных кадров для предприятий и организаций регионов (**Программа «Кадры для регионов»**).

УДК 552:534.222.2 (076.5)

ББК 26.31 я7

Содержание издания согласовано с ЗАО «ГЕОТЕК Холдинг» ОАО «Севергеофизика» (главный геофизик по Тимано-Печорской провинции – А. М. Куприянов).

Методические указания рассмотрены и одобрены заседанием кафедры ГМИС от 28.01.2014 протокол №5.

Рецензент: О. М. Вельтистова, зав. кафедрой ГМИС УГТУ, к.г.-м.н.; А. М. Куприянов, главный геофизик по Тимано-Печорской провинции ЗАО «ГЕОТЕК Холдинг» ОАО «Севергеофизика».

Редактор: О. В. Демьяненко, инженер кафедры ГМИС Ухтинского государственного технического университета.

Научно-методический редактор: В. Е. Кулешов, проректор по научной работе и инновационной деятельности УГТУ, доцент, к.т.н.

Корректор: П. В. Котова. Технический редактор: Л. П. Коровкина.

В методических указаниях учтены замечания рецензентов и редактора.

План 2014 г., позиция 388.

Подписано в печать 31.10.2014. Компьютерный набор.

Объем 23 с. Тираж 100 экз. Заказ №289.

© Ухтинский государственный технический университет, 2014

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.

Типография УГТУ.

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, д. 13.

Введение

Петрофизические знания являются фундаментальными для специалистов в области геофизики, разработки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, геотехнологического моделирования, геоэкологии и многих других областей знаний, связанных с науками о Земле.

В результате проведения лабораторных работ, описанных в данном методическом указании, студенты геологоразведочных специальностей смогут:

- овладеть современными методиками изучения кернового материала нефтегазоносных отложений; навыками разработки комплексных исследований керна нефтегазовых скважин; навыками сравнительного анализа геологического строения и нефтегазоносности разрезов различных площадей;

- определять скорость прохождения упругих акустических волн в горных породах и их удельное электрическое сопротивление;

- свободно пользоваться компьютером и программным обеспечением для решения петрофизических задач;

- использовать достижения мировой петрофизической науки для постоянного самообучения и повышения своей конкурентоспособности на рынке услуг нефтегазовой сферы;

- систематизировать, обобщать и самостоятельно анализировать полученную информацию по комплексу методов исследования пород и флюидов;

- изучать особенности залегания углеводородов в недрах и влияние различных геолого-физических и геолого-промысловых факторов на условия извлечения промышленных запасов нефти и газа из продуктивных пластов.

Определение удельного электрического сопротивления горных пород способом непосредственной оценки на переменном токе с применением прибора «ПетроОм»

Цель работы:

Целью настоящей лабораторной работы является закрепление студентами теоретических сведений и получение практических навыков определения удельного электрического сопротивления горных пород в лабораторных условиях – способом непосредственной оценки на переменном токе с применением прибора «ПетроОм», а также с принципом действия прибора и его правильной эксплуатацией.

1. Физические основы метода.

Способность вещества проводить электрический ток, т. е. формировать упорядоченный поток заряженных частиц (электронов, ионов) под действием

электрического поля, оценивается величиной электропроводности (σ) или удельного электрического сопротивления (ρ). Они связаны соотношением:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}, \quad (1)$$

ρ в системе СИ имеет единицу измерения Ом·м, σ – 1/Ом·м, иногда обозначаемую сименс на метр (См/м).

Удельное электрическое сопротивление характеризует противодействие единицы объёма вещества (горных пород, вод и т. п.) прохождению электрического тока.

С точки зрения электропроводности горные породы можно рассматривать в общем случае как трёхкомпонентные образования, состоящие из твёрдого вещества (кристаллический скелет), жидкости (чаще всего водные растворы солей, в отдельных случаях нефть) и газа.

В уравнении, описывающем электрическое сопротивление (R), удельное электрическое сопротивление представляет собой коэффициент пропорциональности:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2)$$

где R – электрическое сопротивление образца, Ом;

l – длина образца, м;

S – площадь поперечного сечения образца, м².

Лабораторным путём удельное электрическое сопротивление (ρ) определяют для установления:

- пределов изменения электрического сопротивления отдельных типов и групп пород (песков, песчаников, глин, глинистых, известково-магнезиальных, кислых, средних, основных и других групп пород);

- наиболее вероятных и средних значений этого свойства для типов пород отдельных стратиграфических подразделений, разрезов, площадей, фаций и геологических регионов;

- характера зависимости удельного электрического сопротивления пород от минерального состава, структуры, соотношения фаз, от частоты и напряжённости электрического поля;

- характера изменения удельного электрического сопротивления при эпигенетическом преобразовании и метаморфизме пород.

Все эти сведения используются при проектировании токовых методов электрометрии скважин и электроразведки, при интерпретации результатов этих исследований, а также для решения многих других задач горного дела.

Минералы, входящие в состав горных пород, по величине ρ грубо подразделяются на три группы:

1. Проводники: $\rho < 10^{-4}$ Ом·м;
2. Полупроводники: $10^{-4} < \rho < 10^8$ Ом·м;
3. Изоляторы: $\rho > 10^8$ Ом·м.

К изоляторам относятся важнейшие породообразующие минералы: кварц, полевые шпаты, кальцит, доломит, галит, сильвин, сера, флюорит, слюды и др. Изолятором также является нефть, её $\rho = 10^{14}$ Ом·м.

Газовая фаза – воздух, смеси углеводородных газов – имеет $\rho \rightarrow \infty$.

Удельное электрическое сопротивление воды определяется степенью её минерализации, химическим составом растворённых в ней солей, температурой и изменяется от $2 \cdot 10^5$ Ом·м (для дистиллированной воды) до $3 \cdot 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-2}$ Ом·м (для вод с высокой минерализацией, достигающей 300-400 г/л).

Зависимость удельного электрического сопротивления горных пород от их фазового и минерального состава и структурно-текстурных особенностей

Механизм электропроводности горных пород может быть ионный, электронный и смешанный в связи с различием их фазового состава и разной природой проводимости породообразующих и аксессуарных или рудных минералов. Удельное электрическое сопротивление твёрдой фазы (минерального скелета) превосходит сопротивление жидкой фазы на 6-8 порядков; газовая фаза является диэлектриком. Поэтому влияние различных фаз, заполняющих поровое пространство пород, и структура последнего являются определяющими для удельного сопротивления большинства горных пород. Исключение составляют глины, глинистые породы и гипс. При развитии аксессуарных или рудных минералов с электронной проводимостью основное значение приобретает структура их включений.

Наиболее общее теоретическое решение вопроса зависимости удельного электрического сопротивления горных пород от структуры порового пространства и характера вкрапленности проводящих компонентов дано в работах А. С. Семёнова. Из рисунка 1 можно видеть, что если в породе с высоким сопротивлением породообразующих минералов проводящие компоненты (заполненные водой поры, рудные минералы) находятся в виде изолированных включений, то они не оказывают влияния на удельное сопротивление породы. Необходимо 97-98% сферических включений и более 50% сферических и эллипсоидальных включений для того, чтобы сопротивление пород начало сни-

жаться. Присутствие в породе нескольких процентов непрерывно связанных между собой проводящих компонентов оказывается достаточным, чтобы уменьшить удельное сопротивление породы на несколько порядков. При содержании проводящих компонентов более 10-20% удельное сопротивление пород становится близким к удельному сопротивлению проводников. Экспериментальные данные по изучению влияния на удельное сопротивление магматических пород электропроводящих (рудных) включений и результаты исследования осадочных пород с различной структурой порового пространства и разной влажностью соответствуют теоретическим кривым и конкретизируют их применительно к различным условиям.

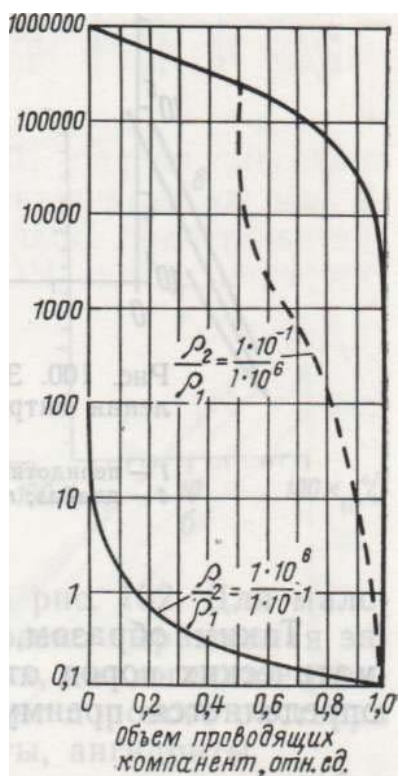


Рисунок 1 – Теоретические кривые зависимости удельного электрического сопротивления горных пород от структуры электропроводящих включений:
 1 – нормальная кривая при сферических включениях;
 2 – кривая при сферических включениях с небольшим количеством (20%) эллиптических включений (по А. С. Семёнову)

С возрастанием коэффициента водонасыщения, происходящего менее резко при появлении в сухих породах гигроскопической влаги и более резко при заполнении водой всего порового пространства, наблюдается понижение удельного электрического сопротивления. Изменение сопротивления магматических пород от газонасыщенных до максимально водонасыщенных составляет 2-4 порядка.

Удельное сопротивление газонасыщенных интрузивных и эффузивных пород разного состава различно за счет сопротивления породообразующих минералов. Так, граниты и кварцевые порфиры, содержащие наиболее плохо проводящие минералы – кварц и биотит, имеют более высокое сопротивление, чем габбро и базальты, состоящие из минералов с несколько меньшим сопротивлением (полевые шпаты, пироксены). В газоводонасыщенных образцах связь между отдельными молекулами гигроскопической воды слабая или вообще отсутствует, за счёт чего удельное сопротивление остается очень высоким.

При изменении влажности образцов базальтов от 0,3-0,5% (газоводонасыщенные) до нуля (газонасыщенные) удельное электрическое сопротивление увеличивается от 10^5 - 10^6 до 10^7 - 10^8 Ом·м; высушивание образцов диабазов и перидотитов с исходной влажностью 0,17-0,1% к изменению ρ не приводит.

В водонасыщенных образцах интрузивных и эффузивных пород наблюдается увеличение удельного сопротивления от кислых разностей к основным и ультраосновным на 2-3 порядка. При этом ρ всех разностей пород остается высоким (10^3 - 10^5 Ом·м), значительно превышающим удельное сопротивление насыщающей воды (60 Ом·м).

С увеличением объема проводящих поровых каналов (от 0 до 5%) в общей величине сопротивления кристаллических пород возрастает роль ионной проводимости водных растворов солей и уменьшается влияние полупроводниковой проводимости минерального скелета пород.

Таким образом, повышение сопротивления водонасыщенных магматических пород от кислых разностей к основным и ультраосновным определяется преимущественно уменьшением пористости и, соответственно, влажности. Те же закономерности изменения удельного сопротивления характерны для метаморфических пород.

В кайнотипных эффузивных породах с пористостью более 5-10% наблюдается еще более резкое изменение удельного сопротивления от газонасыщенных к водонасыщенным, достигающее 4-6 порядков; сопротивление водонасыщенных пород составляет 10^2 Ом·м, реже 10^3 Ом·м. По характеру изменения сопротивления эти породы близки к осадочным.

Зависимость удельного электрического сопротивления осадочных обломочных и малоглинистых пород (песчаников, песков, известняков, доломитов) от влажности и пористости однозначна. Чем больше пористость, тем выше влажность и меньше сопротивление пород. Эта зависимость хорошо изучена для пород различного литологического состава, разной цементации и структуры и используется для определения пористости по ρ . Для исключения влияний минерализации вод применяется параметр пористости F_R , равный отношению удельного сопротивления пористой водонасыщенной породы ρ_n к сопротивлению насыщающего её раствора ρ_s .

$$F_R = \rho_n / \rho_s. \quad (3)$$

Глинистые породы следует рассматривать как трёхкомпонентные ассоциации, поскольку наряду с высокоомными минералами и поровым раствором в них присутствуют минералы из групп цеолитов и глин, которые имеют относительно низкое сопротивление. Поэтому сопротивление глинистой породы существенно зависит от количества глинистого материала и характера его распределения.

Зависимость удельного электрического сопротивления горных пород от сопротивления жидкой фазы

В естественных условиях залегания, ниже уровня грунтовых вод, горные породы обводнены поровыми, пластовыми, трещинно-жильными или карстовыми водами, минерализованными разными солями и в различной концентрации.

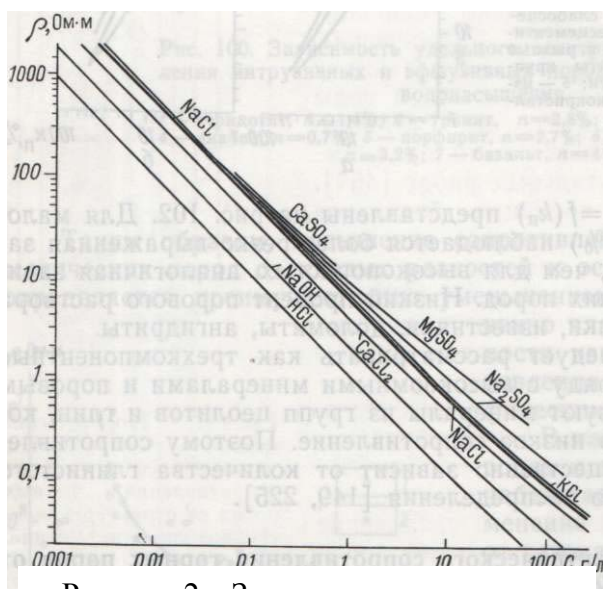


Рисунок 2 – Зависимость удельного электрического сопротивления различных растворов от степени их минерализации (по В. Н. Дахнову)

Удельное электрическое сопротивление воды находится в зависимости от количества и состава растворённых в ней солей. Как видно из рисунка 2, удельное сопротивление уменьшается по линейному закону по мере возрастания степени минерализации воды при любом солевом составе.

Наиболее характерное изменение степени минерализации вод от 0,01 до 1 г/л может привести к изменению удельного сопротивления вод в 100 раз, а при наличии солевых растворов – на несколько порядков. Зависимость удельного сопротивления от состава растворённых солей показана на рисунке 2. При содержании в воде KCl, CaSO₄ или CaCl₂ в том же количестве, что NaCl, сопротивление воды изменяется очень незначительно. Больше отличие в сопротивлении наблюдается при растворении в воде HCl; при одинаковой концентрации HCl и NaCl сопротивление воды в первом случае в 5 раз меньше.

Зависимость удельного сопротивления воды от температуры интервала 0-100°C прямолинейная. На глубинах до 1 000-3 000 м температура воды в большинстве случаев изменяется на 40-50°C, что может изменить сопротивление воды в 2-2,5 раза, а при более высоких температурных градиентах – в 4-5 раз. Таким образом, основное влияние на удельное электрическое сопротивление воды оказывает степень её минерализации. В пределах отдельных районов играют роль солевой состав и температура.

Наибольшее влияние на ρ пород оказывает изменение минерализации от 0,01 до 0,1-0,5%.

Зависимость удельного электрического сопротивления осадочных пород от степени минерализации поровых и пластовых вод подчиняется общей закономерности, но несколько отлична для различных литологических групп. В глинистых

породах нарушается прямая зависимость между сопротивлением породы и минерализованного раствора. Сопротивление мелкозернистых глинистых пород при высокой концентрации порового раствора всегда больше сопротивления средне- и крупнозернистых пород, насыщенных этим же раствором. При низкой концентрации установлена обратная зависимость. Пониженное удельное сопротивление глинистых пород обусловлено явлением поверхностной проводимости.

Поры осадочных пород в газоносных пластах обычно лишь частично заполнены поровым раствором. В нефтеносных же пластах наряду с проводящей жидкостью в порах находится нефть, обладающая высоким сопротивлением. Для исключения влияния минерализации раствора при сравнении коллекторов по степени их газо- или нефтенасыщенности введена безразмерная величина – параметр насыщения порового раствора породы P_n , указывающий на степень насыщенности породы нефтью или газом

$$P_n = \frac{\rho_{nn}}{\rho_g} = \frac{a_n}{(1 - k_n)^n} = \frac{a_n}{k_g^n}, \quad (4)$$

где k_g – количество долей объёма порового пространства, заполненного водой, а k_n – нефтью;

$a_n = 0,6$, $n = 2,25$ песчано-глинистых пород (при $k_n < 40\%$);

$a_n = 0,4$, $n = 2,1$ для карбонатных пород или газа (при $k_n < 25\%$).

С увеличением содержания нефти или газа в породах возрастает сопротивление и параметр насыщения, а следовательно, и сопротивление гидрофобного коллектора может быть на порядок больше гидрофильного. Высоким сопротивлением обладают также породы, содержащие водонефтяные эмульсии, так как в них диспергированная вода изолирована нефтью и практически не принимает участия в электропроводности.

Влияние включений минералов с электронной проводимостью на удельное электрическое сопротивление горных пород

Проводящие минералы влияют на удельное сопротивление пород только в случае, когда зёрна их в породе контактируют друг с другом. Для изменения сопротивления породы на несколько порядков достаточно, чтобы объём включений составлял несколько процентов от объёма породы (см. рис. 1).

Наиболее распространёнными в породах минералами, характеризующимися электронной проводимостью, являются магнетит, графит, а в пределах месторождений также и сульфидные минералы. Включения магнетита в виде тончайших прожилок и ксеноморфных выделений, цементирующих породу, особенно характерны в серпентинизированных перидотитах и пироксенитах, в

дунитах, встречаются в рудном габбро и иногда в базальтах. В этих случаях указанные высокоомные породы характеризуются сравнительно низким сопротивлением, составляющим десятки или первые сотни Ом·м. Так, кажущееся сопротивление серпентинизированных ультраосновных пород (по данным электропрофилирования) составляет 200-400 Ом·м. В гранитоидах, эффузивах среднего и кислого состава и в метаморфических породах магнетит, как правило, включён в виде изолированных зёрен и поэтому не оказывает влияния на их удельное сопротивление.

Включения графита наиболее характерны для метаморфических сланцев и гнейсов, где он в виде тончайших чешуек пронизывает породу по сланцеватости; известна графитизация других пород, особенно в пределах рудных месторождений. Благодаря очень высокой электропроводности графита, сопротивление графитизированных пород колеблется от единиц до сотен Ом·м. Аналогичное понижение сопротивления пород вызывают тончайшие прожилки и включения высокометаморфизованного угля, имеющего электронную проводимость.

Сульфитизация пород присуща многим рудным месторождениям и при соответствующей структуре вкрапленности понижает удельное сопротивление пород до сотен и единиц Ом·м.

В поле переменного тока сопротивление влагонасыщенных пород может проявлять дисперсию. Степень изменения их сопротивления с увеличением частоты тока зависит от диапазона частот, величины сквозной проводимости и наличия включений минералов, имеющих электронный или дырочный характер проводимости. В песчаниках, доломитах, алевролитах и других породах, обладающих сопротивлением менее 10^6 Ом·м в области частот 0- 10^5 Гц, как правило, дисперсии ρ не наблюдается. При наличии же рудных включений в породе или в области более высоких частот, она обнаруживается [12].

2. Аппаратура, оборудование и материалы.

Прибор «ПетроОм» предназначен для измерения электрического сопротивления насыщенных солевыми растворами или пластовыми флюидами образцов горных пород и удельного электрического сопротивления растворов в атмосферных условиях и соответствует требованиям ГОСТ 25494–82. ПОРОДЫ ГОРНЫЕ. Методики определения УЭС образцов горных пород.

Рабочими условиями применения прибора являются:

- Температура окружающего воздуха $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$;
- Относительная влажность – до 80% при температуре $+ 22^{\circ}\text{C}$;
- Атмосферное давление 60-106,7 кПа (480-800 мм рт. ст.).

Принцип работы прибора основан на измерении полного сопротивления при зондировании переменным током частотой 1 000 Гц.

Прибор изображён на рисунке 3 и состоит из следующих основных составных частей:

- 1 – компьютер с программным обеспечением для работы;
- 2 – кернодержатель для образцов керна;
- 3 – электронный цифровой измерительный блок (Измеритель иммитанса);
- 4 – измерительная кювета



Рисунок 3 – Общий вид прибора «ПетроОм»

Кернодержатель изображён на рисунке 4 и состоит из следующих частей:

- 1 – Верхний подвижный электрод;
- 2 – Пневмоцилиндр;
- 3 – Нижний неподвижный электрод;
- 4 – Корпус кернодержателя;
- 5 – Пневмораспределитель;
- 6 – Манометр;
- 7 – Регулятор давления;
- 8 – Однополюсные клеммы.

Кернодержатель укомплектован сухими нержавеющими электродами. Сопротивление электродов пренебрежимо мало (0,05-0,3 Ом).

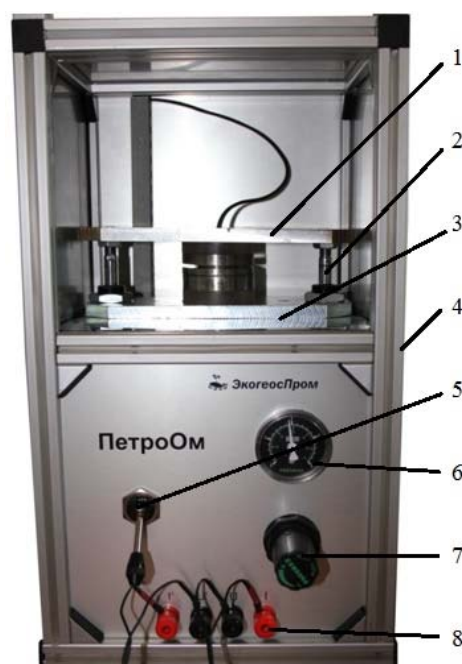


Рисунок 4 – Кернодержатель для образцов керна

Необходимо следить за тем, чтобы на поверхности электродов не скапливалось большого количества солевого раствора. Избытки солевого раствора необходимо удалять влажной салфеткой.

Для работы прибора (кернадержателя) необходим источник сжатого воздуха, с давлением в системе от 0,2 МПа до 1 МПа.

Управление прибором осуществляется с помощью программы «ПетроОм М 2.51», основное окно которой представлено на рисунке 5 и включает в себя четыре области:

1 – область управления прибором и индикации текущего состояния прибора.

В области управления присутствуют следующие кнопки:

«УЭС керна» – проверка удельного сопротивления керна;

«УЭС раствора» – проверка удельного сопротивления раствора;

«Старт/Стоп» – кнопка пуска (остановки) процесса измерения;

«Установка нуля»;

«Сброс нуля».

2 – область графика, более наглядного отображения результатов измерения и для выбора результата;

3 – область ввода данных по образцу или раствору;

4 – область эксперимента, позволяет задавать температуру образца либо раствора, а также видеть последний результат, а также просматривать ранее полученные результаты.

Нажав на вкладку «Файл», мы можем создавать, открывать и сохранять базы данных.

Нажав на вкладку «Настройки», мы можем изменить интерфейс программы.

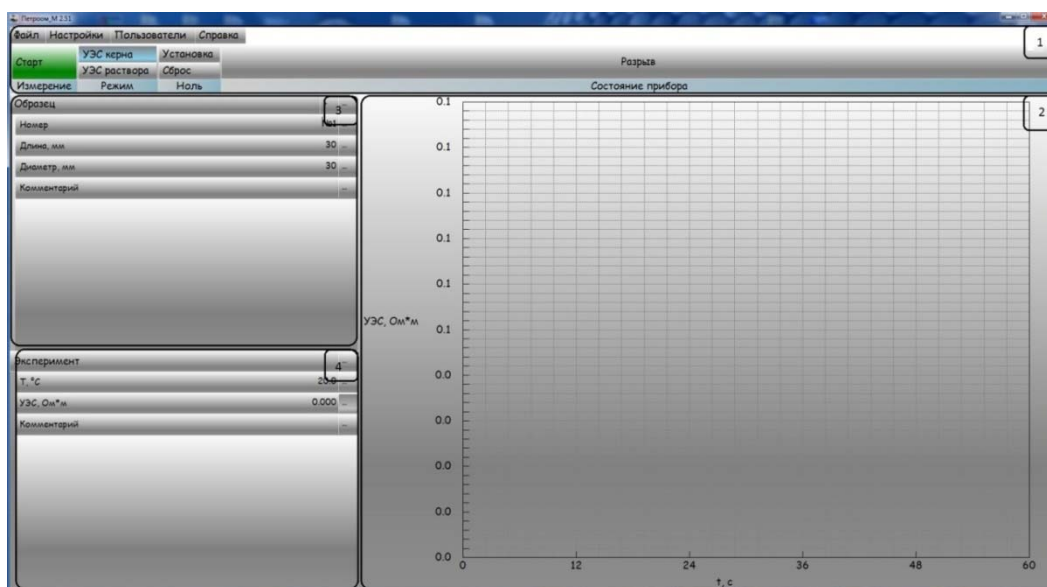


Рисунок 5 – Основное окно программы «ПетроОм»

Указание мер безопасности!

Студенты, выполняющие работы на приборе, должны быть ознакомлены с действующими правилами по технике безопасности при работе с электроизмерительными приборами.

Рекомендуется работать в резиновых (медицинских) перчатках.

Проявлять особую осторожность при установке образца в кернодержатель.

Переключать тумблер только после установки образца.

3. Порядок проведения работы.

1. Включить питание прибора.

2. На измерителе иммитанса выбрать режим измерения R/Q , нажав на кнопку «РАРА».

3. Выбрать режим подключения RS 232, нажав кнопку «FUNC», в параметрах подключения выбрать пункт «rS232 ON»

4. Запустить программу «ПетроОм.exe». При правильном подключении прибора в верхнем положении тумблера на мониторе будет отображена надпись «Подключите к прибору кернодержатель». Нажать кнопку «Ок».

5. В области 3 (см. рис. 5) введите параметры образца (если необходимо оставьте свои комментарии). Прибор готов к измерению сопротивления.

6. Перед проведением измерения необходимо создать базу данных. Для этого необходимо нажать на «Файл», далее – «Создать» > «База данных» > «Создать автоматически».

7. Перед проведением измерений необходимо произвести установку нуля, для этого необходимо ввести параметры контрольного образца и температуру окружающей среды в помещении, взять контрольный образец с проложенной по торцам образца смоченной в растворе фильтровальной бумагой и в программе нажать кнопку «Установка» в подгруппе «Ноль». Программа автоматически установит ноль.

8. После установки нуля программа будет автоматически вычислять УЭС керна.

9. После ввода параметров образца необходимо нажать кнопку «Старт».

10. Открыть дверцу прибора (кернодержателя). Подготовить керн. Если керн берётся непосредственно после насыщения, то его необходимо просушить фильтровальной бумагой, чтобы удалить излишек влаги.

11. Подготовить фильтровальную бумагу, нарезав кружки по диаметру исследуемого керна, капнуть по 10 капель солевого раствора и приложить к торцам керна.

12. Установить керн в кернодержатель и закрыть дверцу.

13. Переместить тумблер на кернодержателе в положение «Н».

14. В окне программы появится текущее значение УЭС, а в области графика – зависимости сопротивления керна от времени. Полученный график позволяет с высокой достоверностью определить значение УЭС керна. Дело в том, что измерительный блок работает по алгоритму усреднения соседних значений и поэтому, примерно, первые полторы-две секунды информация содержит приблизительное значение. На экране графика наблюдается падение значения УЭС, что свидетельствует об улучшении контакта образца и электродов при измерении УЭС керна. Рекомендуется определять в качестве значения УЭС момент перехода из «минимума» в «максимум», так как увеличение УЭС свидетельствует о том, что образец начинает высыхать.

15. Можно остановить процесс измерения, не дожидаясь минимального значения в случаях, когда это падение замедленно и уже не повлияет на точность измерения УЭС, нажав кнопку «Стоп» либо подняв тумблер вверх в положение «В». После чего на экране монитора появится окно со значением УЭС и вопросом «Сохранить результат?» и две кнопки «Да» и «Нет».

16. При нажатии кнопки «Да» данные измерения будут сохранены.

17. Вынуть керн из кернодержателя.

18. Для дальнейших измерений выполнить пункты 12-17.

19. Результаты сохранённых измерений можно увидеть, нажав кнопку «Результаты в 4 области» (см. рис. 5) или открыть проводник по адресу C:/Мои документы/ЭкогеосПром/.

20. После 5-10 измерений электрического сопротивления необходимо проводить контрольное измерение нулевого сопротивления кернодержателя.

21. Подключить электролитическую кювету к измерителю иммитанса проводами, согласно надписям на них.

22. Налить раствор в кювету, в программе нажать кнопку «Старт».

23. В верхней части экрана появится текущее значение R_s , а в области III графика – зависимости сопротивления раствора от времени.

24. Нажав кнопку «Стоп», остановить процесс измерения. Сохранить результат.

25. По окончании измерений электрического сопротивления, кернодержатель прибора протереть фильтровальной бумагой, смоченной дистиллированной водой, удалить солевые проявления, вытереть насухо, измерительную кювету промыть и вытереть насухо.

26. Обесточить прибор, убрать рабочее место.

27. Рассчитать параметр пористости по формуле 3.

4. Форма записи исходных данных и результатов расчётов.

Исходные данные и результаты определения удельного электрического сопротивления горных пород записываем в журнал.

Таблица 1 – Результаты и исходные данные

№ обр.	Литология	Параметры образца		Уд. электр сопротивление ρ_n , Ом·м	Параметр пористости, F_R
		Длина L , мм	Диаметр d , мм		
1	2	3	4	5	6

Выполнил _____

Определение скорости распространения упругих акустических волн с применением прибора «Ультразвук»

Цель работы:

Целью настоящей лабораторной работы является закрепление студентами теоретических сведений и получение практических навыков определения скорости распространения упругих акустических волн в образцах горных пород в лабораторных условиях с применением прибора «Ультразвук».

1. Физические основы метода

Упругость характеризует свойство веществ сопротивляться изменению их объёма и формы (твёрдые тела) или только объёма (жидкости, газы) под воздействием механических напряжений. Деформация растяжения или сжатия сопровождается преодолением сил внутренних напряжений. Свойство горных пород сопротивляться разрушению и образованию больших остаточных деформаций под действием нагрузки называется прочностью.

Сейсмоакустические свойства определяют закономерности распространения в горных породах упругих колебаний (кратковременных упругих деформаций). При решении геологических задач применяется комплекс методов в широком частотном диапазоне: от сейсмических (низкочастотных с частотой 500 Гц) до акустических с частотами 0,5-10 КГц и ультразвуковых на частотах свыше 10 КГц.

К сейсмическим свойствам горных пород относят скорости распространения продольных V_p , поперечных V_s и поверхностных волн V_r , коэффициенты поглощения этих волн α_p и α_s (декременты поглощения).

Возникающие в упругих средах деформации обуславливают распространение продольных и поперечных волн. Продольные волны (P) создаются деформациями объёма (растяжение-сжатие), поперечные (S) – деформациями

сдвига и кручения. *Продольные волны* распространяются в любой среде – газах, жидкостях и твёрдых телах, так как все вещества обладают упругим сопротивлением объёмному сжатию. *Поперечные волны* могут распространяться только в твёрдых средах и слоях рыхло- и прочно связанной жидкости, характеризующихся относительно фиксированным положением молекул.

Сейсмоакустические свойства осадочных пород определяются составом, пористостью, характером структурных связей, диагенезом пород и свойствами заполнителя порового пространства. Наибольшее влияние на сейсмоакустические свойства основных групп осадочных пород оказывают характер структурных связей и фазовый состав породы.

Одним из принципиальных вопросов определения скорости распространения упругих волн в образцах керна, отличающихся малыми размерами, является выполнение требования о подобии распространения волн в образцах и массиве. Экспериментальными исследованиями установлено, что волна на образце, соответствующая волне в массиве, наблюдается при величине отношения радиуса образца r к длине волны λ , большей единицы. При $r/\lambda < 0,5 \div 0,15$ регистрируется волна в стержне со скоростью $V_{p.ст.}$. При $r/\lambda = 1 \div 0,5$ происходит сильное искажение формы импульса первого вступления (область нерегулярных возмущений ОНВ). Принцип подобия распространения продольной волны в образце и массиве осуществляется при учете соотношений между длиной волны λ , диаметром D и длиной образца L .

Оценка скорости распространения ультразвуковых волн сводится к определению времени прохождения ультразвуковых импульсов через образцы заданной длины или к установлению времени запаздывания эхо-сигнала. Эти времена составляют 10-100 мс при длине пути до 1 м в породах и жидкостях.

Скорость распространения волн в образцах пород определяется по данным измерений на образце длиной L (м) времени τ (с) пробега упругой ультразвуковой волны:

$$V_{p(s)} = \frac{L}{\tau}. \quad (5)$$

2. Аппаратура, оборудование и материалы

Прибор «Ультразвук» предназначен для определения скорости распространения упругих акустических волн (продольных и поперечных) в образцах горных пород при сквозном прозвучивании и соответствует ГОСТ 21153.7–75. Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн.

Нормальными значениями факторов внешней среды при испытаниях и работе в лаборатории прибора являются:

- температура окружающего воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха 30-80%;
- атмосферное давление 60-106,7 кПа (480-800 мм рт. ст.).

В состав прибора входят:

1. Регистрирующий блок (рис. 6, 7), в корпусе которого установлен осциллограф цифровой запоминающий, применяющийся для:

- визуализации полученного ультразвукового сигнала на мониторе компьютера;
- первичной интерпретации полученного сигнала оператором;
- сохранения полученных результатов измерений.



Рисунок 6 – Лицевая панель прибора

- 1 – разъем для подключения приемника; 2 – разъем для подключения излучателя;
3 – фитинги цангового типа для подключения пневмоцилиндров кернодержателя (соответственно нижний к нижнему, а верхний к верхнему); 4 – световая индикация типа включенной волны; 5 – тумблер ручной для управления кернодержателем; 6 – световая индикация питания блока электроники; 7 – кернодержатель

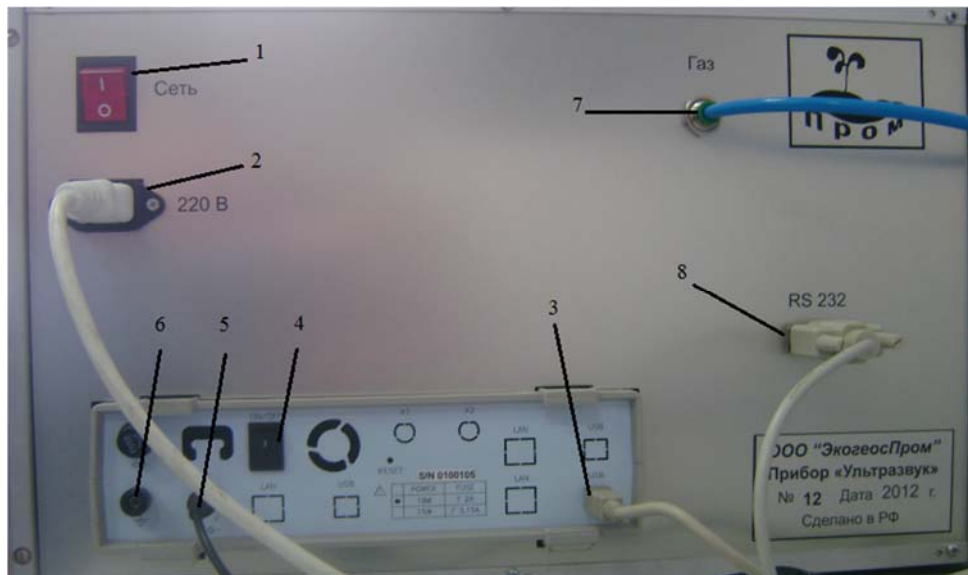


Рисунок 7 – Задняя панель прибора

1 – электрический тумблер для включения прибора; 2 – электрический разъём для подключения прибора к электросети переменного тока; 3 – USB-разъём для подключения осциллографа к компьютеру; 4 – электрический тумблер для включения осциллографа; 5 – электрический разъём для подключения осциллографа к электросети переменного тока.

Осциллограф подключается через выносной блок питания; 6 – заземление прибора;

7 – фитинг цангового типа для подключения сжатого газа (воздух или азот) давлением от 2 до 4 атм; 8 – разъём RS232 для связи блока электроники и компьютера

2. Измерительный блок (кернодержатель) – позволяет разместить исследуемый образец относительно ультразвуковых датчиков (излучателя и приемника) с сохранением соосности акустической оси датчиков, их поляризации, стабильной осевой нагрузкой, загрузку и выгрузку образца (рис. 1).

3. Электронный штангенциркуль для измерения линейных параметров образцов горных пород.

Программа управления блоком электроники PropAkk26.exe (рис. 8) позволяет переключать типы волн (продольные (P), поперечные – (S)), при этом включенный режим отображается изменением цвета кнопки включенной волны и световой индикацией соответствующего светодиода на блоке электроники.

Для обеспечения связи программы с блоком электроники необходимо корректно указать номер COM-порта, к которому подключен блок (Настройки/Связь с прибором/COM №).

Для работы с цифровым осциллографом применяется программа «АКТАКОМ Oscilloscope Pro» (рис. 9).

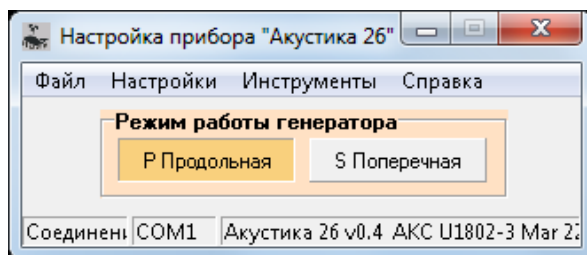


Рисунок 8 – Программа для переключения типа волн

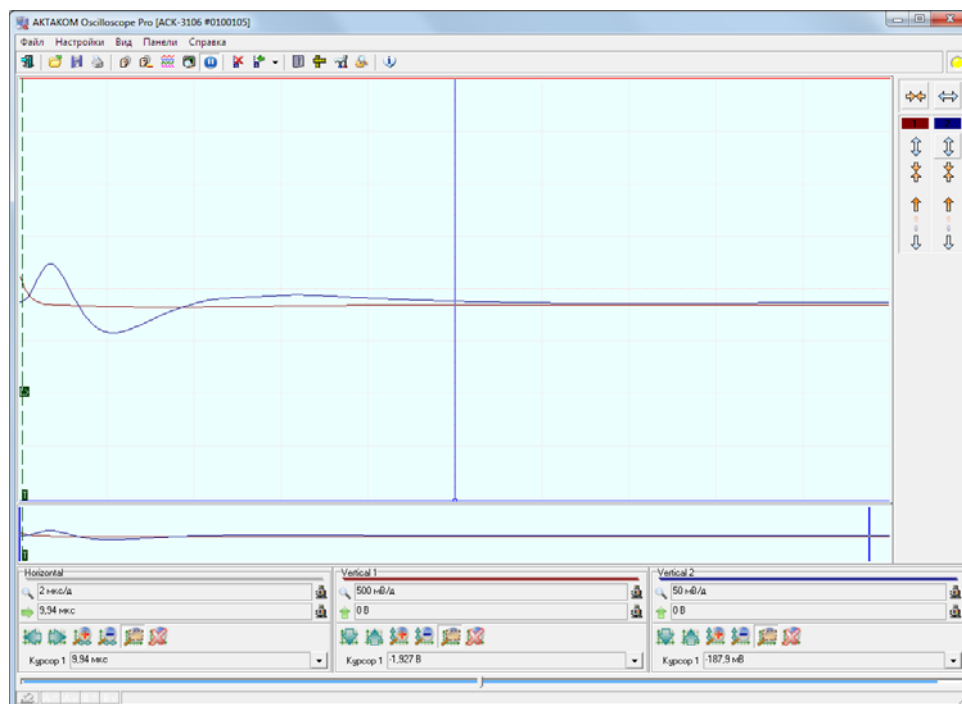


Рисунок 9 – Программа для работы с осциллографом

3. Порядок проведения работы

1. Запустить на ПК программу «АКТАКОМ».
2. Запустить программу PropAkk26.exe (используется для переключения типа волн).
3. В программе «АКТАКОМ» прочитать конфигурацию (Файл – Прочитать конфигурацию – 555.CFG).
4. На панели управления канал 1 можно скрыть с экрана сняв галочку, для канала 2 установить тип входа «АС» (рис. 10).
5. Определить время задержки:
 - взять два образца оргстекла или любого другого материала с одинаковыми акустическими свойствами;
 - установить первый образец в кернодержатель и замерить время T_1 ;
 - установить второй образец в кернодержатель и замерить время T_2 ;
 - установить оба образца и замерить время T_{1+2} ;

- вычислить время задержки для продольной и поперечной волны по формуле

$$T_s = T_1 + T_2 - T_{1+2}. \quad (6)$$

6. Установить образец в кернодержатель.

7. Замерить общее время на волне P – продольная волна.

8. Переключить тип волны в программе PropAkk26 в положение S -волна (поперечная волна).

9. Замерить общее время на волне S .

10. Время прохождения ультразвука в образце рассчитываем по формуле

$$T = T_{\text{общ}} - T_3. \quad (7)$$

11. Записать полученные данные в журнал.

12. Для измерения следующего образца выполнить пункты 6-11.

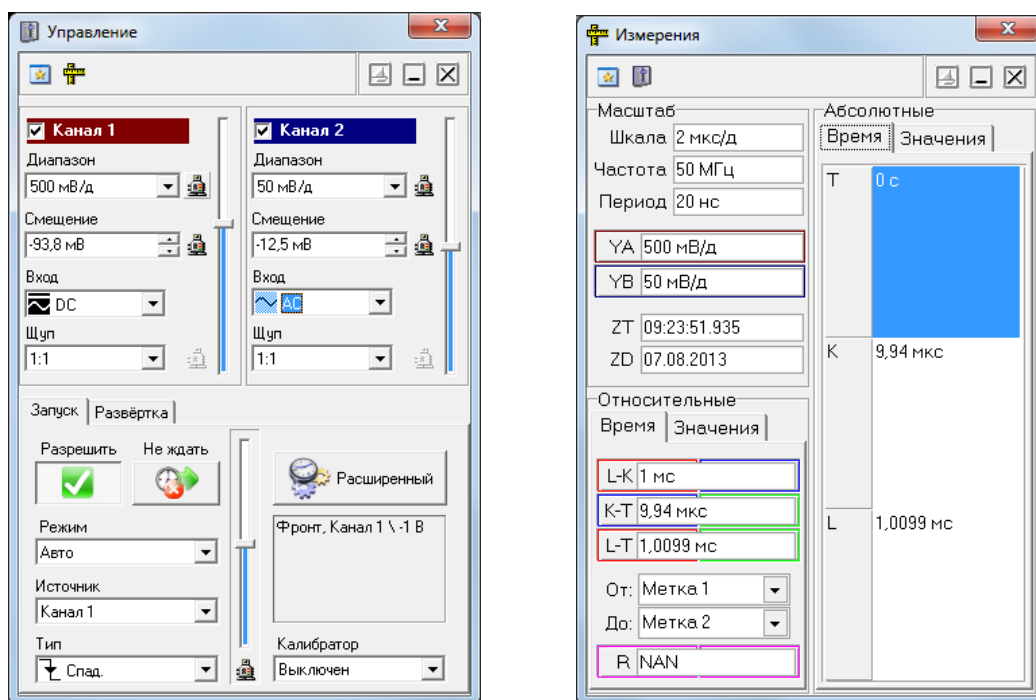


Рисунок 10 – Панели управления и измерения

4. Порядок проведения расчётов

Отношение скоростей продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн является функцией коэффициента Пуассона (μ), характеризующего интенсивность поперечной деформации при приложении к образцу усилий, и выражается в виде:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu}}. \quad (8)$$

Вычисление коэффициент Пуассона позволяет рассчитать модуль Юнга (E), взяв значения плотности (δ_n) образцов из лаб. работы №1:

$$E = \frac{V_p^2 \delta_n (1 + \mu)(1 + 2\mu)}{1 - \mu} = 2V_s^2 \delta_n (1 + \mu). \quad (9)$$

По известным E и μ можно определить модуль сдвига G , сжимаемость β и модуль всестороннего сжатия K :

$$G = E / 2(1 + \mu) = V_s^2 \delta_n; \quad (10)$$

$$\beta = 3(1 - 2\mu) / E; \quad (11)$$

$$K = E / 3(1 - 2\mu). \quad (12)$$

5. Форма записи исходных данных и результатов расчётов.

Исходные данные и рассчитанные коэффициенты упругости (коэффициент Пуассона (μ), модуль Юнга (E), модуль сдвига (G), сжимаемость (β), модуль всестороннего сжатия (K), записывают в журнал по форме, приведённой в таблице.

Таблица 2 – Форма записи результатов исследований

№ обр.	Длина образца, L , мм	Общее время		Время прохождения $T_{общ} - T_z$		Скорость		Отношение V_p / V_s	Коэффициенты упругости				
		$T_{общ.p}$, мкс	$T_{общ.s}$, мкс	T_p , мкс	T_s , мкс	V_p , м/с	V_s , м/с		μ	E , Па	G , Па	β	K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Выполнил _____

Библиографический список

1. ГОСТ 21153.7-75 Породы горные. Метод определения скорости распространения упругих продольных и поперечных волн.
2. ГОСТ 25494-82 Породы горные. Метод определения удельного электрического сопротивления.
3. Добрынин, В. М. Петрофизика : учеб. для вузов / В. М. Добрынин, Б. Ю. Вендельштейн, Д. А. Кожевников. – М. : Недра, 1991. – 368 с.: ил.
4. Физика горных пород : учеб. для вузов / Л. Я. Ерофеев, Г. С. Вахромеев, В. С. Зинченко, Г. Г. Номоконова. – Томск : Изд-во ТПУ, 2006. – 520 с.
5. Зинченко, В. С. Петрофизические основы гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации геофизических данных : учеб. пособие для студентов вузов / В. С. Зинченко. – М. – Тверь : Изд-во «АИС», 2005. – 392 с.
6. Кобранова, В. Н. Петрофизика : учеб. для вузов / В. Н. Кобранова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1986. – 392 с.
7. Корюгин, П. Ф. Определение петрофизических характеристик по образцам : метод. указания. Ч. 1 / П. Ф. Корюгин, Л. П. Шилов, С. В. Лапшина. – Ухта : УГТУ, 2002. – 47 с.
8. Корюгин, П. Ф. Определение петрофизических характеристик по образцам : метод. указания. Ч. 2 / П. Ф. Корюгин, Л. П. Шилов. – Ухта : УГТУ, 2003. – 38 с.
9. Прибор для определения скорости прохождения упругих акустических волн «Ультразвук» : техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Тверь, 2012.
10. Прибор для исследования электрических свойств горных пород «ПетроОм №17» : паспорт и инструкция по эксплуатации. – Тверь, 2012.
11. Кобранова, В. Н. Руководство к лабораторным работам по курсу «Петрофизика» : учеб. пособие для вузов / В. Н. Кобранова, С. Л. Пацевич, А. В. Дахнов, Б. И. Извеков. – М. : Недра, 1982. – 216 с.
12. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. – М. : Недра, 1976. – 527 с.