

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА



Институт геологии и нефтегазового дела имени К. Турысова
Кафедра: Геофизика

Комплексная интерпретация материалов ГИС

для специальности 7М07105
«Нефтегазовая и рудная геофизика»

АЛМАТЫ 2023

Истекова С.А.,
докт. геол.-минерал. наук,
проф. каф. Геофизики

ЛИТЕРАТУРА

Вендельштейн Б.Ю. Резванов Р.А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов. М.: Недра, 1978.	Элланский М.М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001.
Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин. М.: Недра, 1981., 2007.	Итенберг С.С. Изучение нефтегазоносных толщ промыслово-геофизическими методами. М.: Недра, 1967
Истекова С.А., Борисенко Г.Т. «Интерпретация результатов геофизических исследований скважин на месторождениях нефти и газа. Учебное пособие (для магистрантов специальности 6М074700 «Геофизические методы поисков и разведки МПИ»)	Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М. : МЭРФ, 2001.
Борисенко Г.Т. « Комплексная интерпретация материалов ГИС». Методические указания к лабораторным работам (для магистрантов специальности 6М074700 «Геофизические методы поисков и разведки МПИ»).	Сковородников И.Г. Геофизические исследования скважин: Курс лекций. - Екатеринбург: УГГГА, 2003. - 294 с.



Физические свойства горных пород

Лекция 2



Основа геофизических методов

- ▶ *Выделение геологических тел среди вмещающих пород основано на том, что объекты отличаются от среды вещественным составом или физическим состоянием.*
- ▶ Используется отличие объекта от вмещающей среды по физическим свойствам (плотностным, магнитным, электрическим, упругим и т.д.).
- ▶ Если объект со свойствами, отличными от свойств вмещающей среды, находится в физическом поле, то вокруг него будет наблюдаться перераспределение поля.
- ▶ **В основе геофизических методов поиски и разведки лежит дифференциация горных пород и руд по физическим свойствам.**

Основа геофизических методов –

существование горных пород, обладающих различными физическими свойствами вследствие:

- ▶ **Различия минералогического состава**
- ▶ **Различия размеров зерен минералов, сортировки, характера упаковки зерен и т.д.**
- ▶ **Изменения формы залегания или смещения по разломам или трещинам**
- ▶ **Изменения пород под воздействием вторичных процессов (окисления, восстановления, обжига, механических воздействий: меняется состав скелета, цемента и т.п.)**
- ▶ **Влияния типа флюидонасыщения порового пространства**

Наиболее важные из физических свойств горных пород

- ▶ Плотность (*density*)
- ▶ Электрическое сопротивление (*resistivity*)
- ▶ Магнитная восприимчивость и естественная намагниченность (*magnetic compliance/ natural magnetism*)
- ▶ Скорость распространения акустических волн (*sonic velocity*)

Особенность геофизики: *ДИСТАНЦИОННОСТЬ*

Еще одна особенность: возможность площадных наблюдений требуемой плотности при полевой геофизике

Наблюдения требуемой плотности по всему стволу скважины

Физические свойства

ПЛОТНОСТЬ

Bulk density, grain density, pore fluid density, and porosity are related in the following manner:

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

WHERE:

ρ_{ma} = Grain density

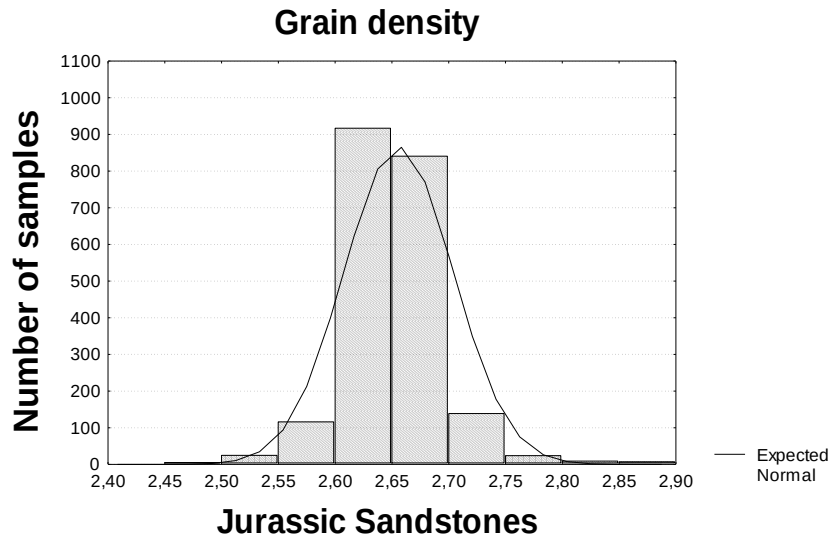
ρ_b = Bulk density

ρ_f = Fluid density



Физические свойства

плотность



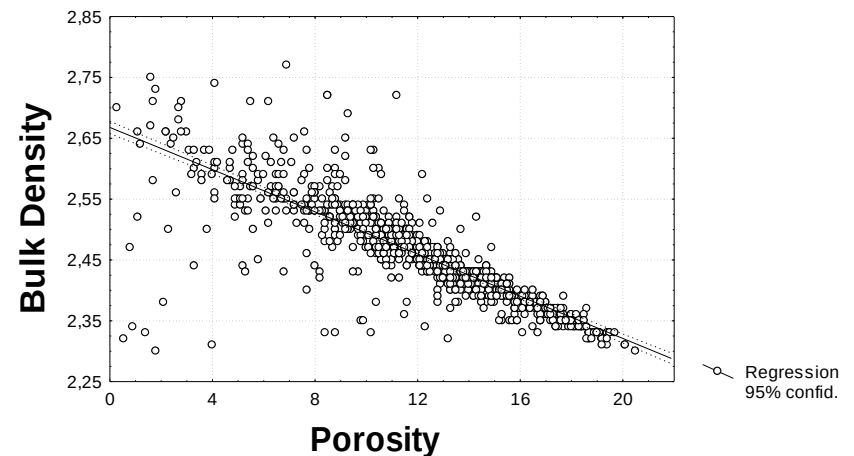
Гистограмма распределения
плотности скелета юрских
песчаников

Поле корреляции объемной
плотности и пористости юрских

песчаников

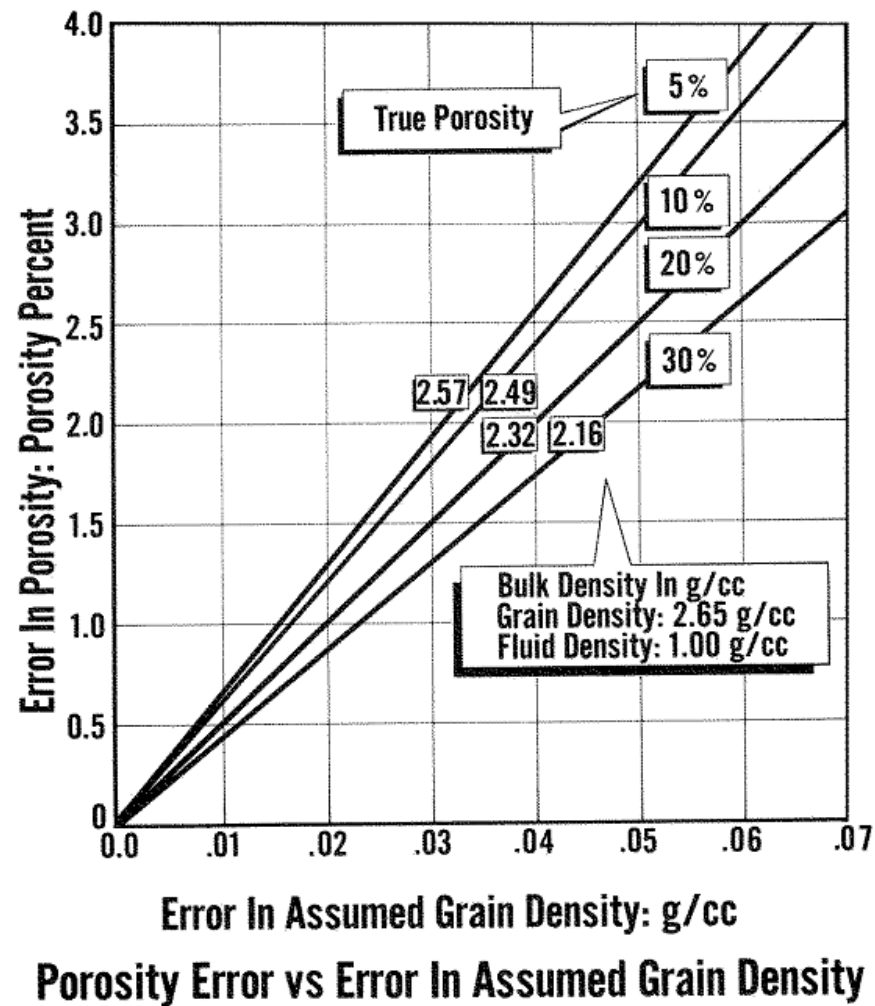
$$\text{DENS} = 2,6679 - ,0173 * \text{POR}$$

Correlation: $r = -,8267$



Физические свойства

ПЛОТНОСТЬ



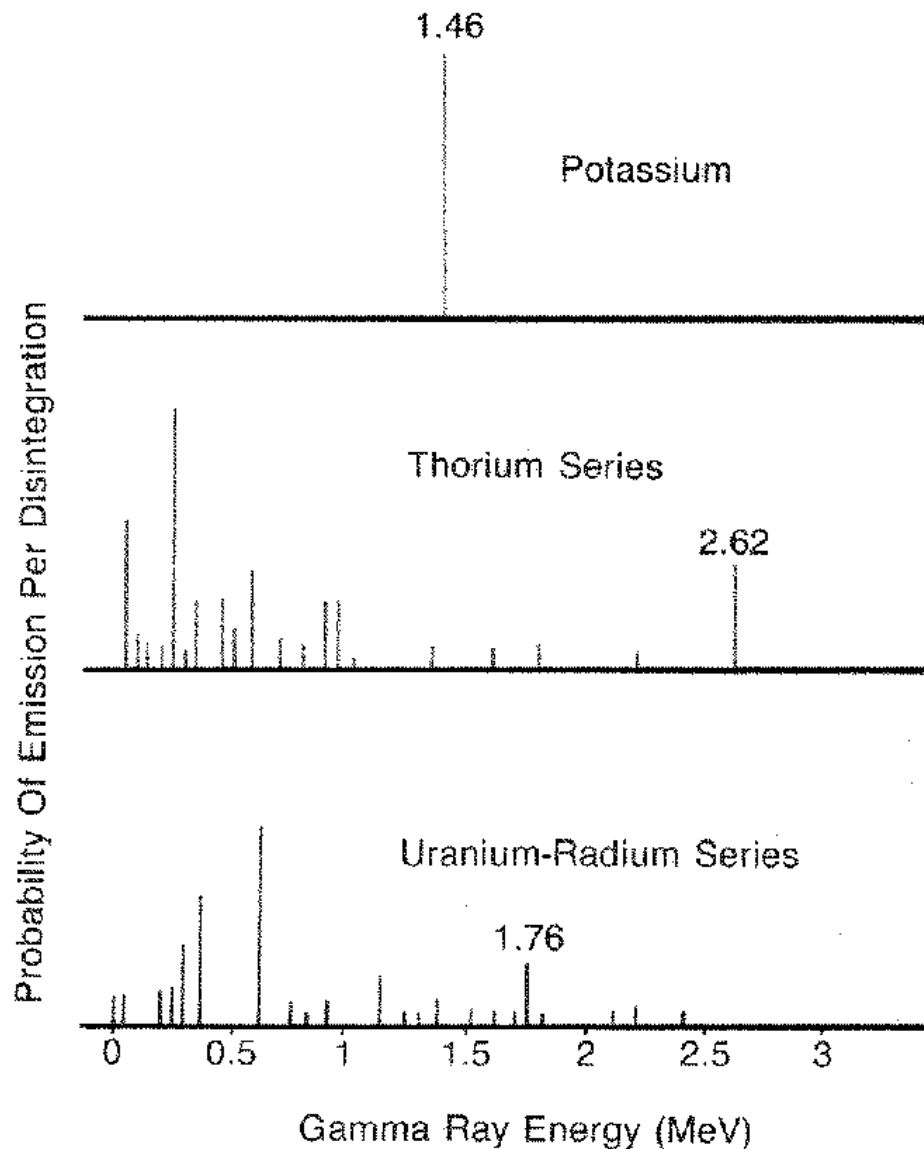
Физические свойства

естественная радиоактивность

- ▶ **Естественная радиоактивность** – способность горных пород к самопроизвольному испусканию гамма-квантов различной энергии за счет превращения одного изотопа в другой – радиоактивного распада
- ▶ Радиоактивность горных пород обусловлена преимущественно содержанием в них радиоактивных изотопов K^{40} , U^{238} , Th^{232}
- ▶ Единицы измерения радиоактивности – грамм-эквивалент радия на 1 грамм породы – концентрация радиоактивных элементов в горной породе, при которой возникает гамма-излучение такой же интенсивности, как при распаде 1 г Ra (г-экв Ra/г, или пг-экв Ra/г). $1 \text{ пг-экв Ra/г} = 10^{-12} \text{ г-экв Ra/г} = 16.5 \text{ API}$
- ▶ Измерение интегральной радиоактивности – радиометрия, гамма-каротаж, измерение концентраций основных радиоактивных элементов – гамма-спектрометрия



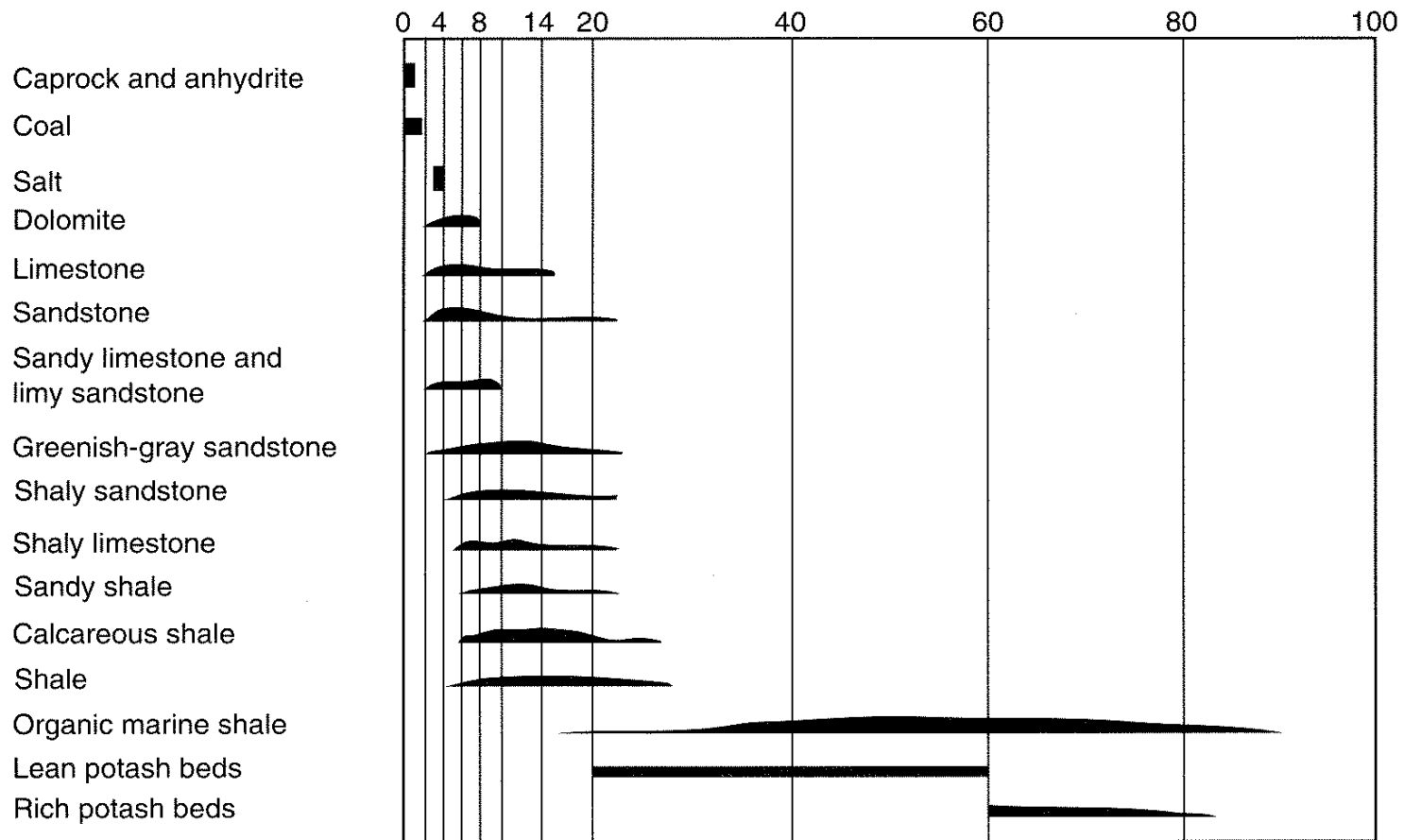
Физические свойства естественная радиоактивность



Natural Gamma Ray Spectra

Физические свойства

естественная радиоактивность

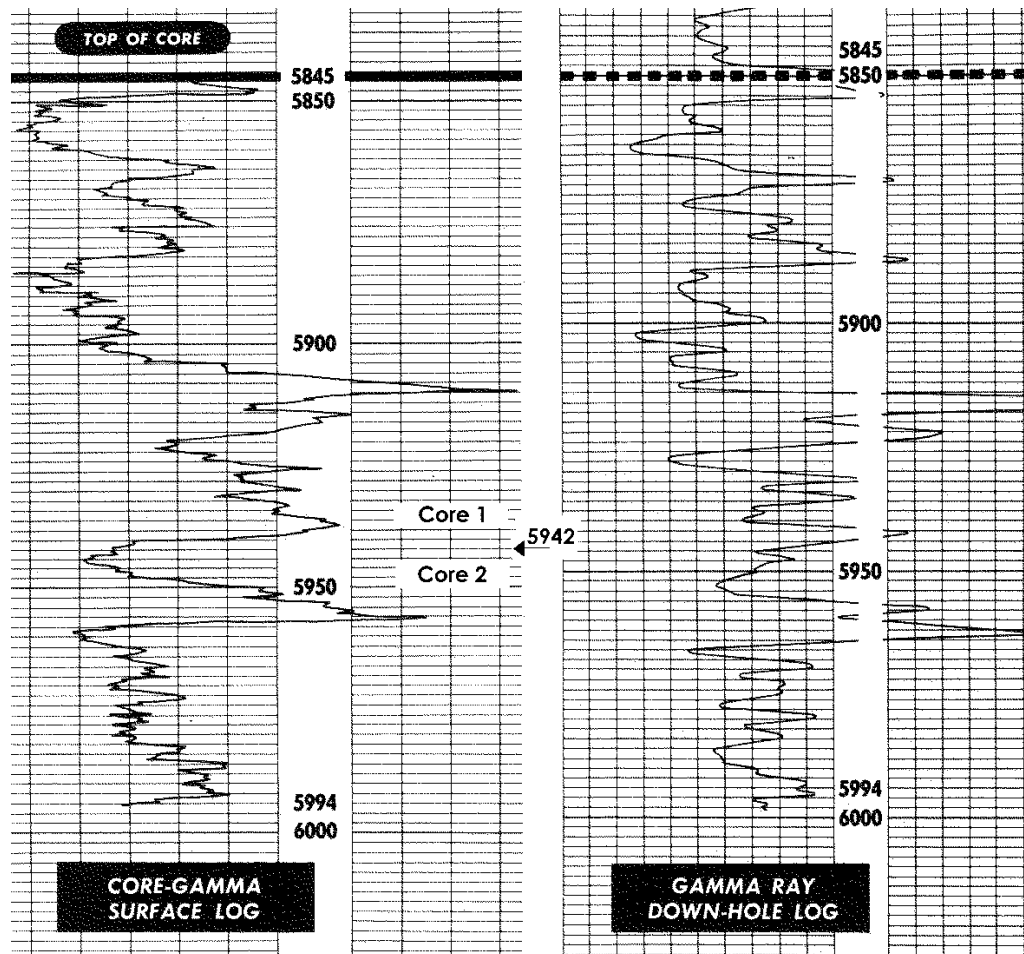


Gamma Ray Responses of Sedimentary Rocks

Физические свойства

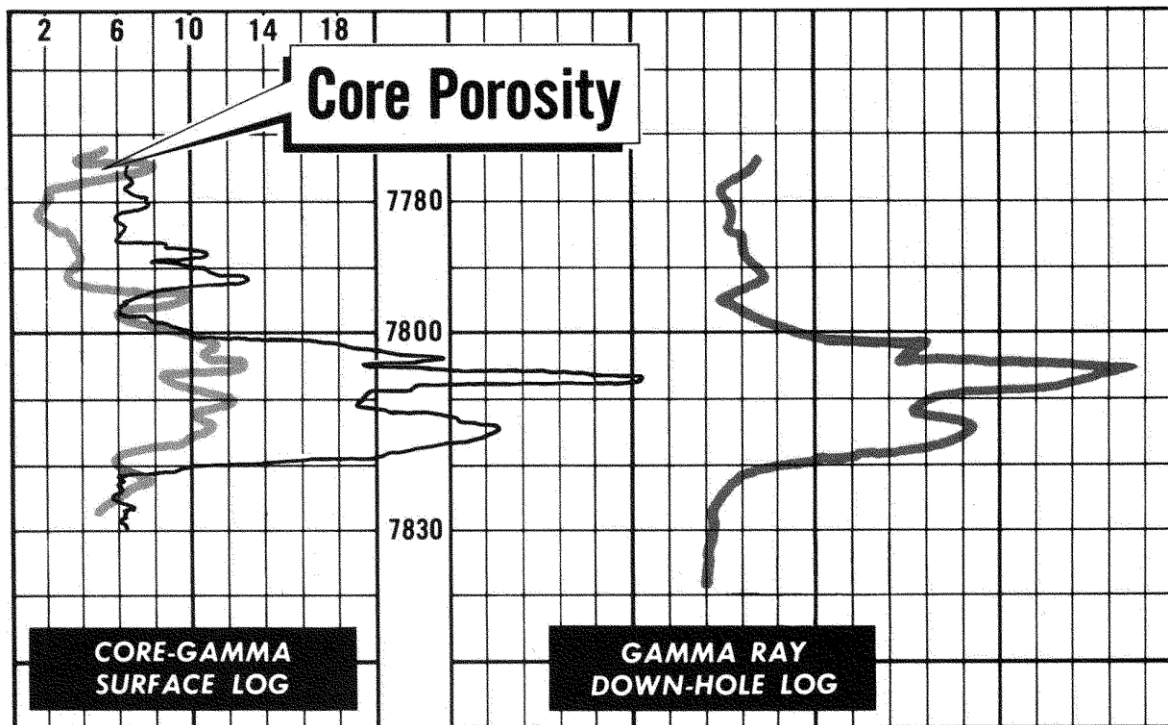
естественная радиоактивность

Увязка данных керна и
геофизических
исследований скважин
с помощью данных по
радиоактивности



Физические свойства

естественная радиоактивность



Уточнение природы
радиоактивности
пористых пород

Физические свойства

упругие свойства

Acoustic Properties Of Rocks

$$V_b = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1 + \mu)}}$$

Where:

V_b = Velocity of bulk compressional waves

V_s = Velocity of shear wave

ρ = Density

E = Young's Modulus

μ = Poisson's Ratio



Физические свойства

упругие свойства

Elastic Wave Velocities in Porous Media

Скорость распространения упругих колебаний в пористой среде

The velocity of elastic waves in a porous medium is a complex function of many of the characteristics of the medium, including:

Скорость распространения упругих колебаний в пористой среде колебаний зависит от следующих факторов

1. **Rock composition**(состав г.п.)
2. **Porosity**(пористости)
3. **Grain size, type and distribution**
(размер зерен и их распространение)
4. **Type and degree of cementation and lithification**
(состава и структуры цемента)
5. **Pore sizes and distribution** (размер пор и их распространение)
6. **Pore fluid densities, viscosity, and saturations**
(флюидонасыщенности)
7. **Rock skeleton pressure and pore pressure**
(структуры скелета г.п. и порового давления)
8. **Bulk compressibility and other elastic properties**
(трещиноватости и др. упругих свойств г.п.)

Физические свойства упругие свойства

уравнение Вилли

связь между пористостью и скоростью распространения упругих колебаний в среде

Relationship of Porosity and Acoustic Velocity

The Wyllie “time-average equation” for compressional waves, has been popular in the industry over many years.

$$\Delta t = \Delta t_f \cdot \phi + \Delta t_m (1 - \phi)$$

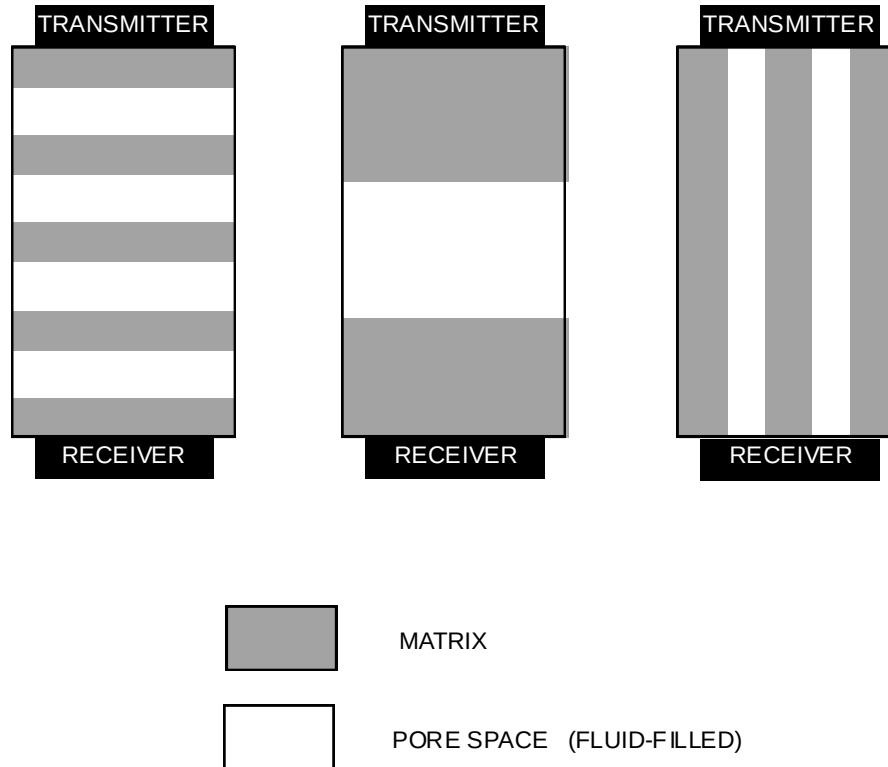
or,

$$\phi = \frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t_f - \Delta t_m}$$



Физические свойства

упругие свойства

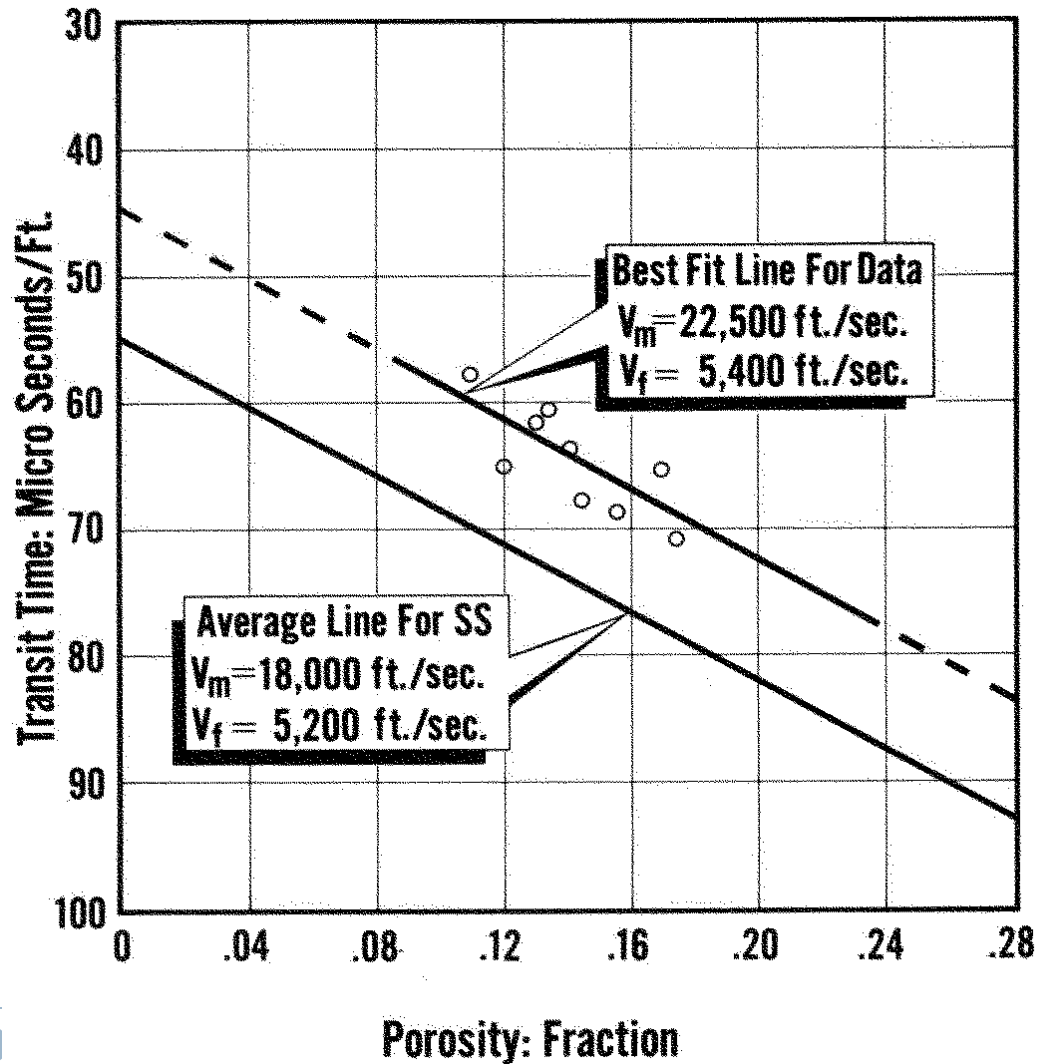


Theoretical Models Relating Porosity And Transit Time



Физические свойства

упругие свойства



Поле корреляции
времени пробега
упругих волн с
пористостью для
песчаников

Физические свойства

электрические свойства

Electrical Properties

$$r \propto \frac{L}{A},$$

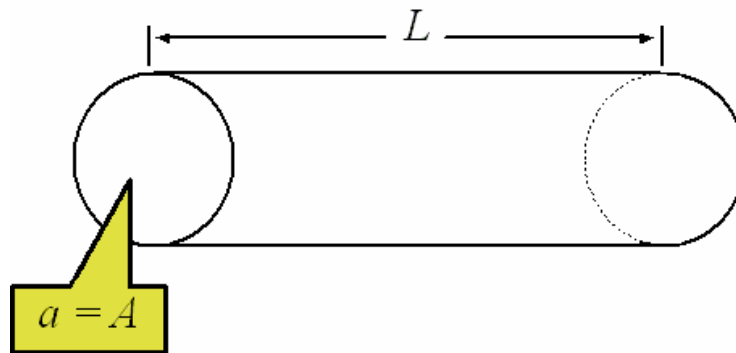
$$r = R \cdot \frac{L}{A},$$

$$R = r \cdot \frac{A}{L}.$$

Where:

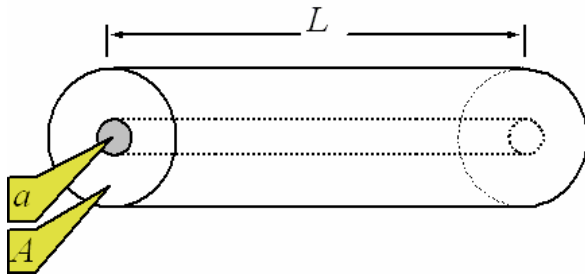
r = Resistance of element of any material of dimension A and L , ohm

R = Resistivity of any element, ohm-length



Физические свойства электрические свойства

In a capillary tube model the equations are:



$$r_o = R_w \cdot \frac{L}{a},$$

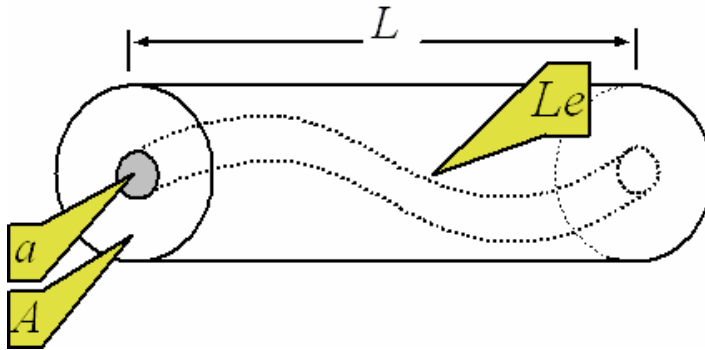
$$R_o = r_o \cdot \frac{A}{L} = \frac{R_w \cdot \frac{L}{a} \cdot A}{L}$$

$$= \frac{R_w}{\frac{a}{A}} = \frac{R_w}{\phi}$$

R_w= Resistivity of brine,
ohm-length Сопротивление флюида
пористого проводника (насыщенность,
капилляры) единицы длины проводника
r_o= Resistance of brine
saturated capillary or porous
media model, ohm сопротивление
проводника (твёрдой фазы)
R_o= Resistivity of brine
saturated capillary or porous
media model, ohm-length
Сопротивление пористого проводника

Физические свойства электрические свойства

In a porous media model the equations become:



$$r_o = R_w \cdot \frac{L_e}{a}$$

$$R_o = r_o \cdot \frac{A}{L} = \frac{R_w \cdot \frac{L_e}{a} \cdot A}{L},$$

$$R_o = \frac{R_w \cdot \frac{L_e}{L} \cdot \frac{L_e}{L}}{\frac{a}{A}} = \frac{R_w \left(\frac{L_e}{L} \right)^2}{\phi}$$

Variables That Influence Resistivity Of Natural Porous Media

Факторы влияющие на изменения
сопротивления

Salinity of water (минерализация-
соленость воды)

Temperature (температура)

Porosity пористость

Pore geometry форма пор

Formation stress давление

Composition of rock состав г.п.

Физические свойства

электрические свойства

Formation Factor

$$F = \frac{R_o}{R_w} = \frac{R_w \left(\frac{Le}{L} \right)^2}{\phi} = \frac{\left(\frac{Le}{L} \right)^2}{\phi}$$

$$F \approx \frac{\frac{1}{\phi}}{\phi} = \frac{1}{\phi^2} = \phi^{-2}$$

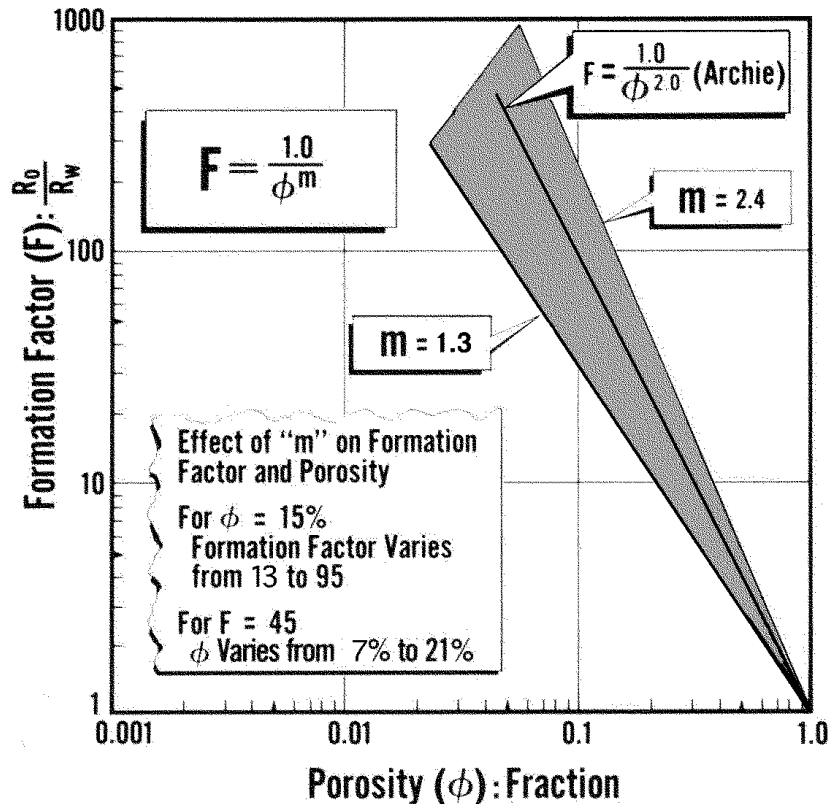
$$F = a\phi^{-m}$$

where 'a' and 'm' are unique properties of the rock.

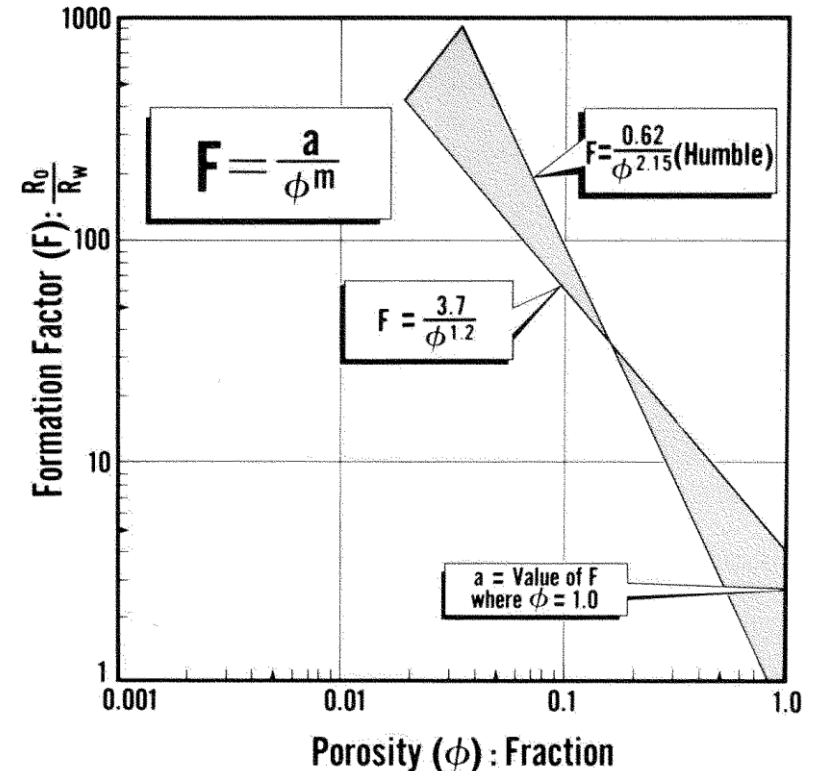


Физические свойства

электрические свойства

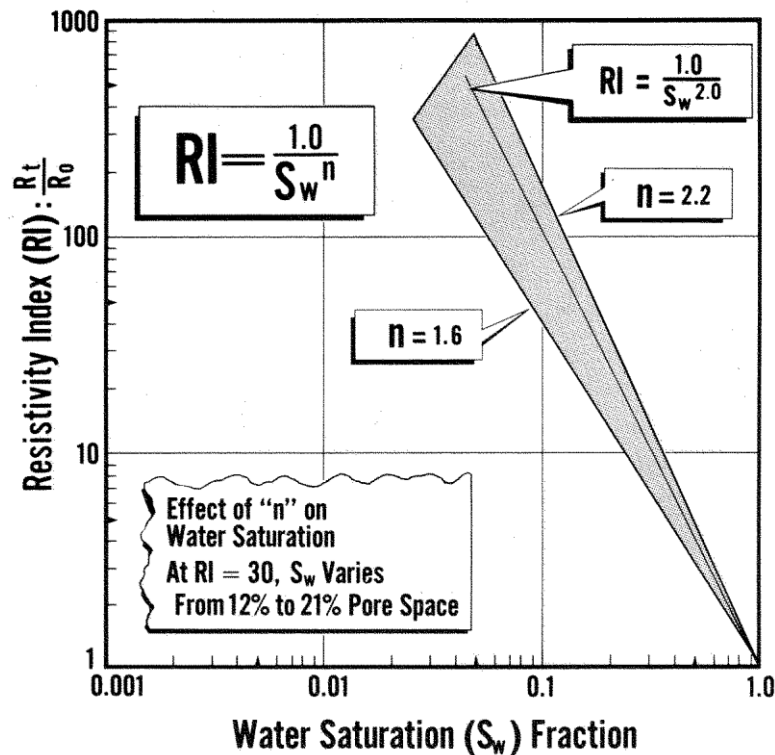


Formation Factor vs. Porosity
Illustrating Variation in slope
"m"



Formation Factor vs. Porosity
Illustrating Variation in intercept
"a"

Физические свойства электрические свойства



Resistivity Index

$$RI = \frac{R_t}{R_0} = S_w^{-n}, \text{ or } \frac{1}{S_w^n}$$

**Resistivity Index vs.
Water Saturation
For Range of Measured
Saturation Exponents**

Физические свойства

электрические свойства

$$R_t = F \cdot R_w \cdot R_I,$$

$$F = a\phi^{-m}, \text{ or } \frac{1}{\phi^m},$$

$$R_I = \frac{R_t}{R_o} = S_w^{-n}, \text{ or } \frac{1}{S_w^n},$$

$$\text{So, } S_w = \sqrt[n]{\frac{F \cdot R_w}{R_t}}, \text{ and } \sqrt[n]{\frac{R_o}{R_t}},$$

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{a}{\phi^m} \cdot R_w \cdot \frac{1}{R_t}},$$

The General Form of the Archie Equation.

Archie Relationship

- a** - is the intercept of the F versus ϕ plot and is related to tortuosity,
- m** - is the Cementation exponent and is also tortuosity dependent,
- n** - is the saturation exponent and is saturation history, wettability and pore geometry dependent,
- ϕ - is the measured porosity



Свойства пластовых флюидов

1. Пластовая вода

- соленость
- плотность
- вязкость
- удельное электрическое сопротивление

2. Углеводороды

- состав и молекулярная структура
- плотность (удельный вес)
- вязкость



Контрольные вопросы

1. Какие задачи решает петрофизика? Что служит основой для геологической интерпретации ГИС? Методы получения петрофизической информации
2. Основные физические и фильтрационно-емкостные свойства изучаемые в ГИС и от каких факторов они зависят
3. Плотность, от каких факторов она зависит?
4. Электрические свойства горных пород и руд, от каких факторов они зависят?
5. Радиоактивность, от каких факторов она зависит?
6. Что Вы понимаете под термином упругие свойства г.п. и от каких геологических параметров среды они зависят
7. Дайте характеристику фильтрационно-емкостным свойствам (ФЭС) осадочного разреза
8. Какова связь между плотностью г.п. и ФЭС окружающую скважину среды
9. Какова связь между радиоактивностью г. п. и ФЭС окружающую скважину среды
10. Какова связь между электрическими свойствами и ФЭС окружающую скважину среды