

# **Петрофизические исследования свойств горных пород, направленные на повышение достоверности интерпретации данных геофизических исследований**

**Докладчик: Голиков Никита Александрович, вед.  
инженер лаборатории «Экспериментальной  
сейсмологии»**

# Работы выполняемые группой петрофизики

1. Подготовка образцов
  - Изготовление образцов (цилиндры и кубики)
  - Экстракция, сушка, насыщение флюидами
2. Фотодокументирование образцов керна
3. Измерение ФЕС стандартными методами
4. Измерение АДА
5. Измерение электрических свойств образцов 2 и 4х электродными методами
6. Измерение акустических и деформационных характеристик в РТ условиях
7. Специальные исследования
  - Измерение УЭС в пластовых условиях
  - Проницаемость в барических условиях и при остаточной водонасыщенности
  - Емкость катионного обмена по метиленовому голубому
  - Поверхностная проводимость
  - Изучение анизотропии УЭС и проницаемости на кубиках
  - Исследование трещиноватости
8. Литологические исследования
  - Общая карбонатность с определением содержания кальцита и доломита
  - Ситовой анализ
  - Определение глинистости пипеточным методом

# Скорости P и S волн, УЭС и сжимаемость образца

Измерения проводятся на установках ССО-60-90 и УК-80, позволяющей моделировать РТ условия, близкие у пластовым.

Характеристики установки ССО-60-90:

- Образец – цилиндр  $D=30\text{мм}$ ,  $L$  10-50 мм
- Осевое и боковое давления (независимо) до 55 Мпа
- Пластовое давление до 25МПа
- Нагревание до температуры  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Одновременное измерение  $V_p$ ,  $V_s$  и УЭС образца
- Снятие кривой изменения объема пор образца

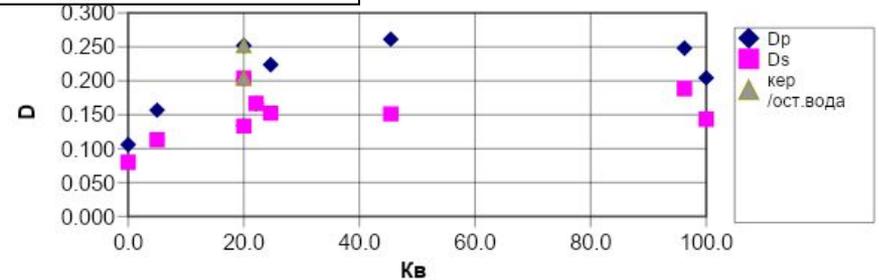
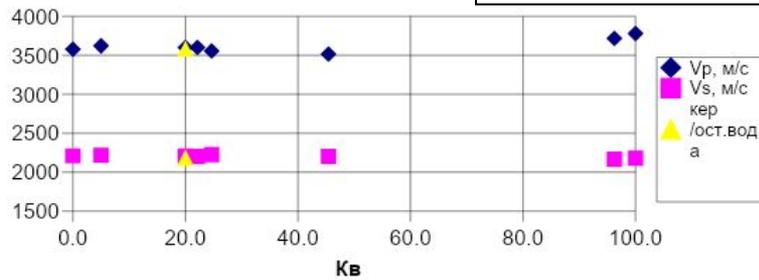
Установка УК-80 разработана для образцов диаметром 80 мм и длиной до 100мм без температуры, в остальном аналогична ССО-60-90

Включение в измерительную схему АЦП для регистрации акустических сигналов дает возможность измерения затухания методом сравнения с эталоном

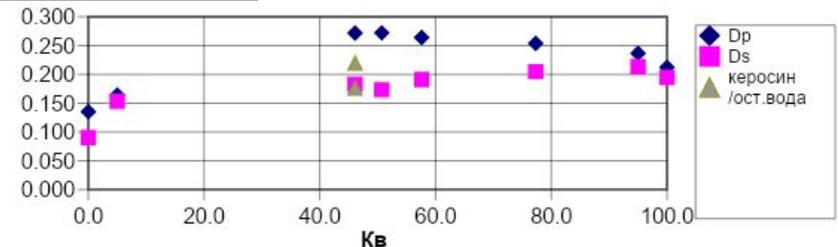
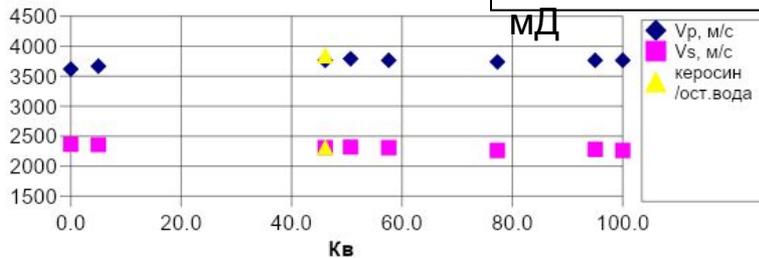
Использование обеих установок позволяет оценивать влияние масштабного фактора на результаты измерений скоростей и УЭС.

# Зависимость скоростей и декремента затухания P и S волн от насыщенности для коллекторов с различными ФЭС

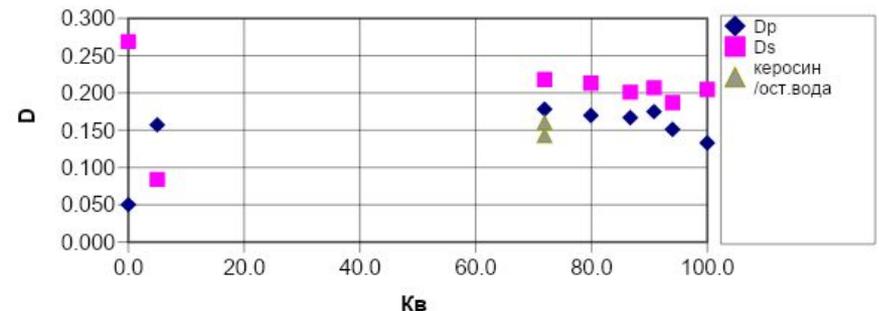
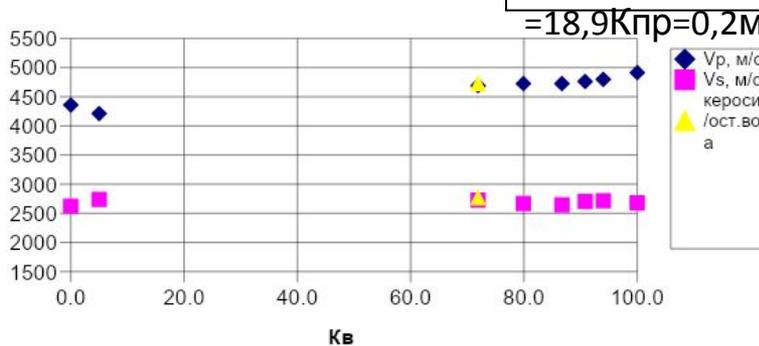
Образец 5150  $K_p = 19.3$   $K_{pr} = 176$  мД



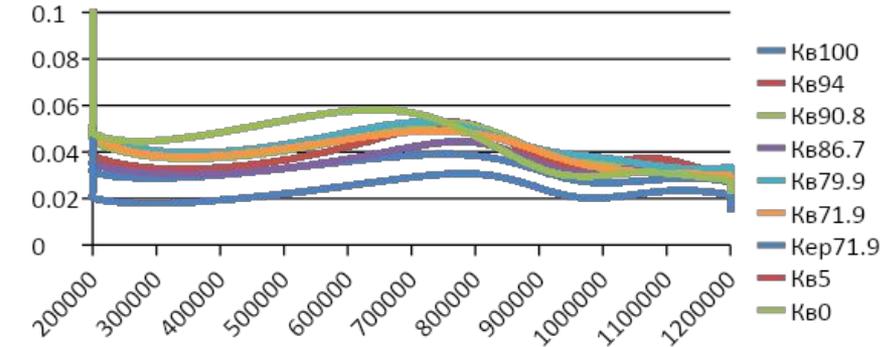
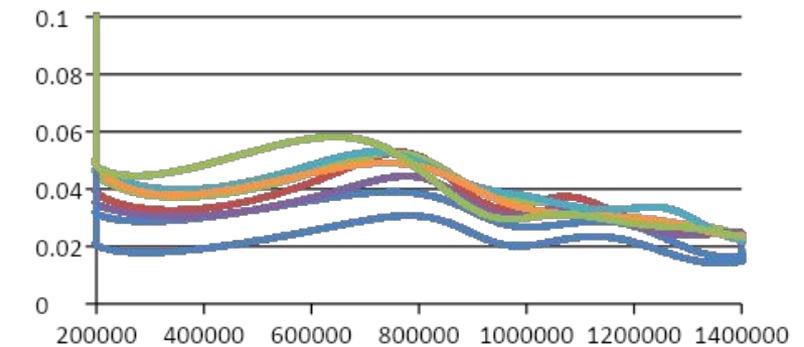
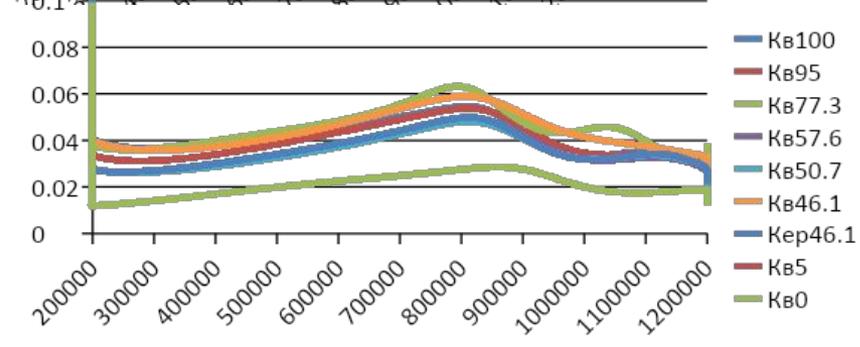
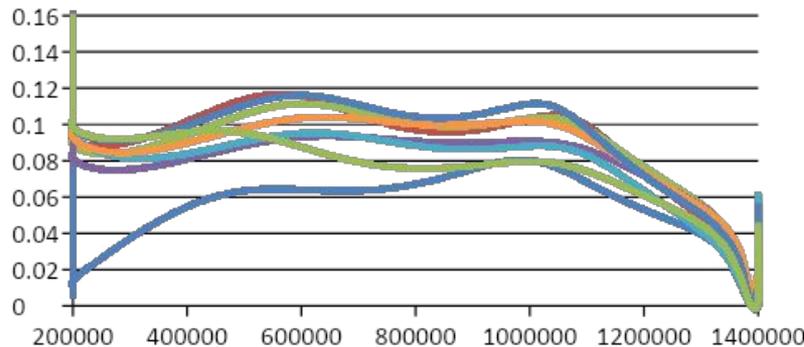
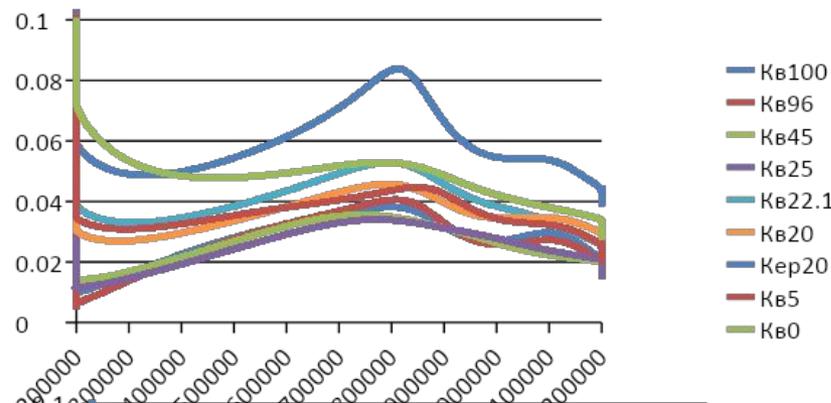
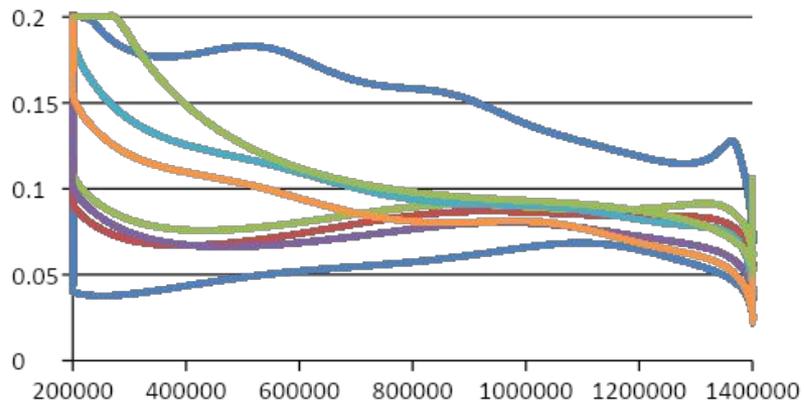
Образец 9402  $K_p = 15.2$   $K_{pr} = 7.3$  мД



Образец 70716  $K_p = 18.9$   $K_{pr} = 0.2$  мД



# Спектры затухания P и S волн от насыщенности для коллекторов с различными ФЕС



## Результаты экспериментальных исследований акустических характеристик пород-коллекторов при различной насыщенности

- Показано, что обратная добротность  $1/Q$  является частотно-зависимым параметром и изменяется сложным образом в зависимости от состояния породы
- Обнаружено различие параметров релаксационных спектров затухания упругих волн сухих и водонасыщенных песчаников, которое требует дальнейшего изучения.
- Показано различие в поведении скоростей P и S волн и декрементов поглощения при изменении степени водонасыщенности в образцах различного литологического состава и коллекторских свойств пород

## Теоретические предпосылки влияния дисперсии проницаемости на спектры затухания упругих волн

Спектр затухания в модели Био соответствует модели стандартного линейного тела. В этой модели затухание определяется следующим выражением

$$Q^{-1}(\omega) = \Delta \frac{\omega \tau_r}{1 + (\omega \tau_r)^2},$$

Круговая частота релаксационного максимума определяется как

$$\omega_r = 2\pi / \tau_r = A \frac{\eta K_n}{\rho_{fp} K}$$

В среде с дисперсией времен релаксации спектр затухания определяется выражением

$$Q^{-1}(\omega) = \Delta \int (d_r) \frac{\omega \tau_r}{1 + (\omega \tau_r)^2} \tau_r,$$

Или для дискретного задания функции распределения времен релаксации

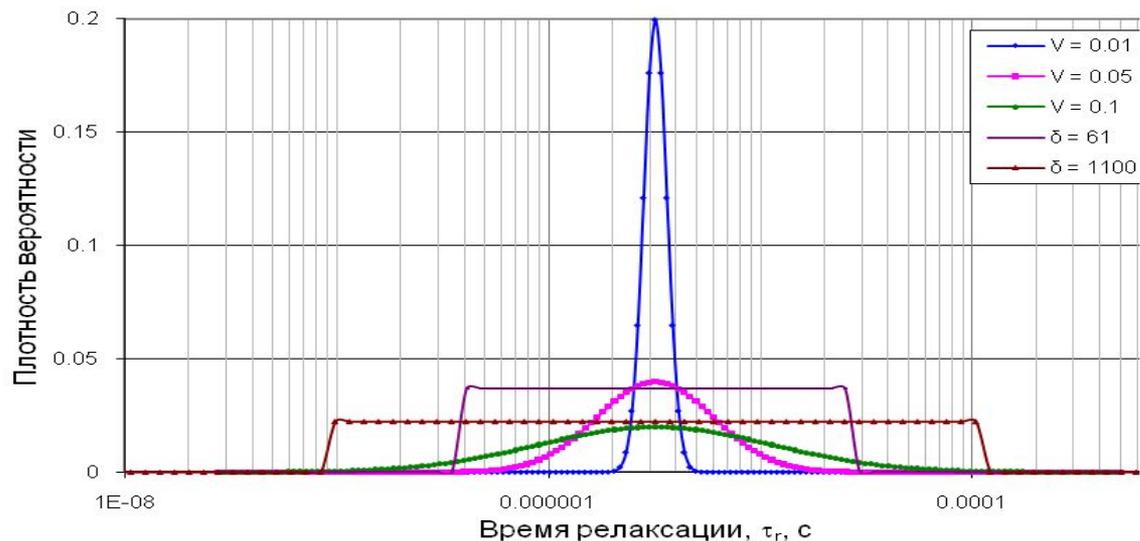
$$Q^{-1}(\omega) = \Delta \sum_{i=0}^{i=n} p(\tau_i) \frac{\omega \tau_i}{1 + (\omega \tau_i)^2} \Delta \tau_i.$$

Проницаемость одиночного капилляра  $K \sim r^2$ , проницаемость набора капилляров .

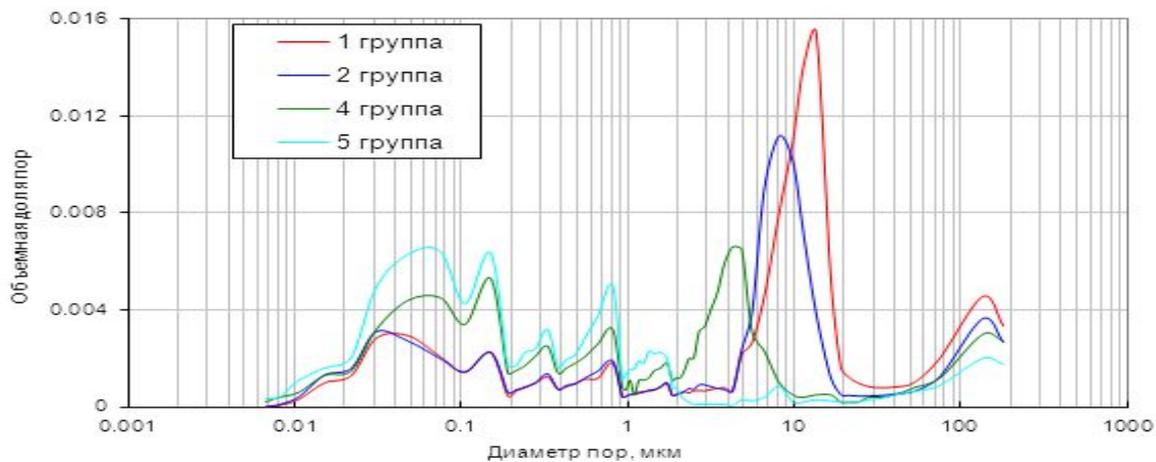
$$K = A \int_0^1 \frac{dS_w}{(Pk(S_w))^2} = B \int_0^1 r^2(S_w) dS_w$$

По кривой капиллярного давления можно рассчитать распределение пор по радиусам, распределение проницаемости и, следовательно, распределение времен релаксации

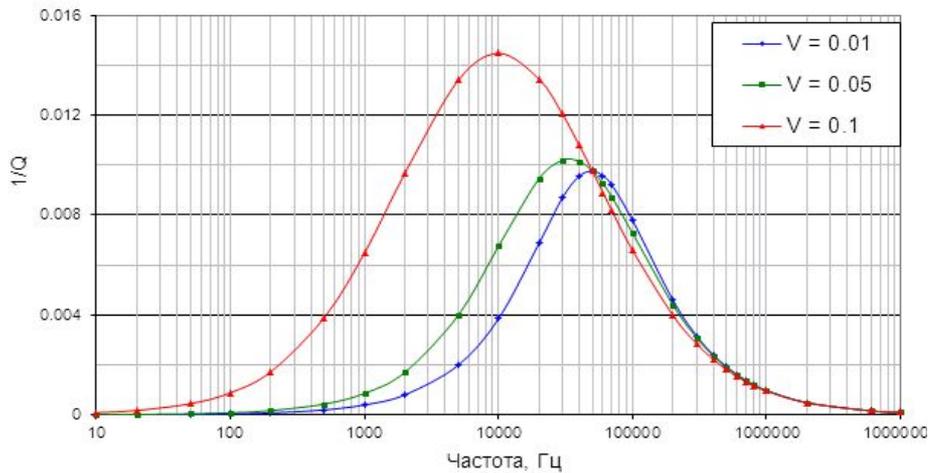
## Теоретические модели распределения времен релаксации использованные при расчетах



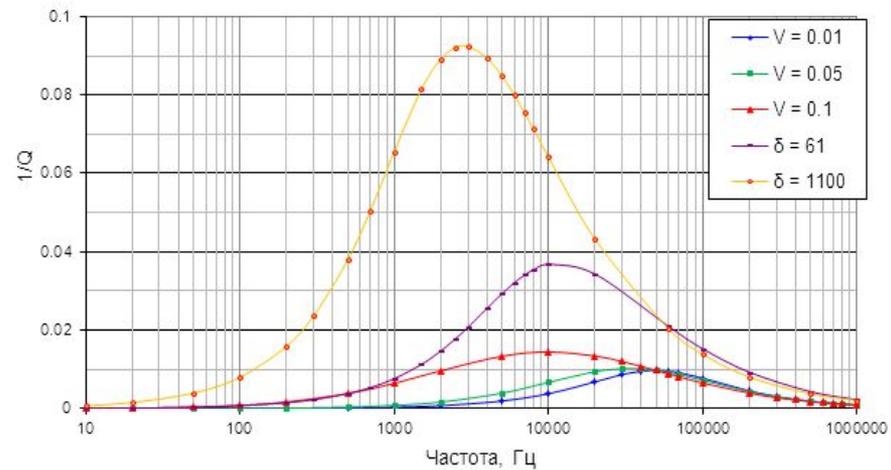
## Распределение пор по размеру для пород-коллекторов различных групп



# Изменение спектров затухания при учете дисперсии времен релаксации (теоретические модели)

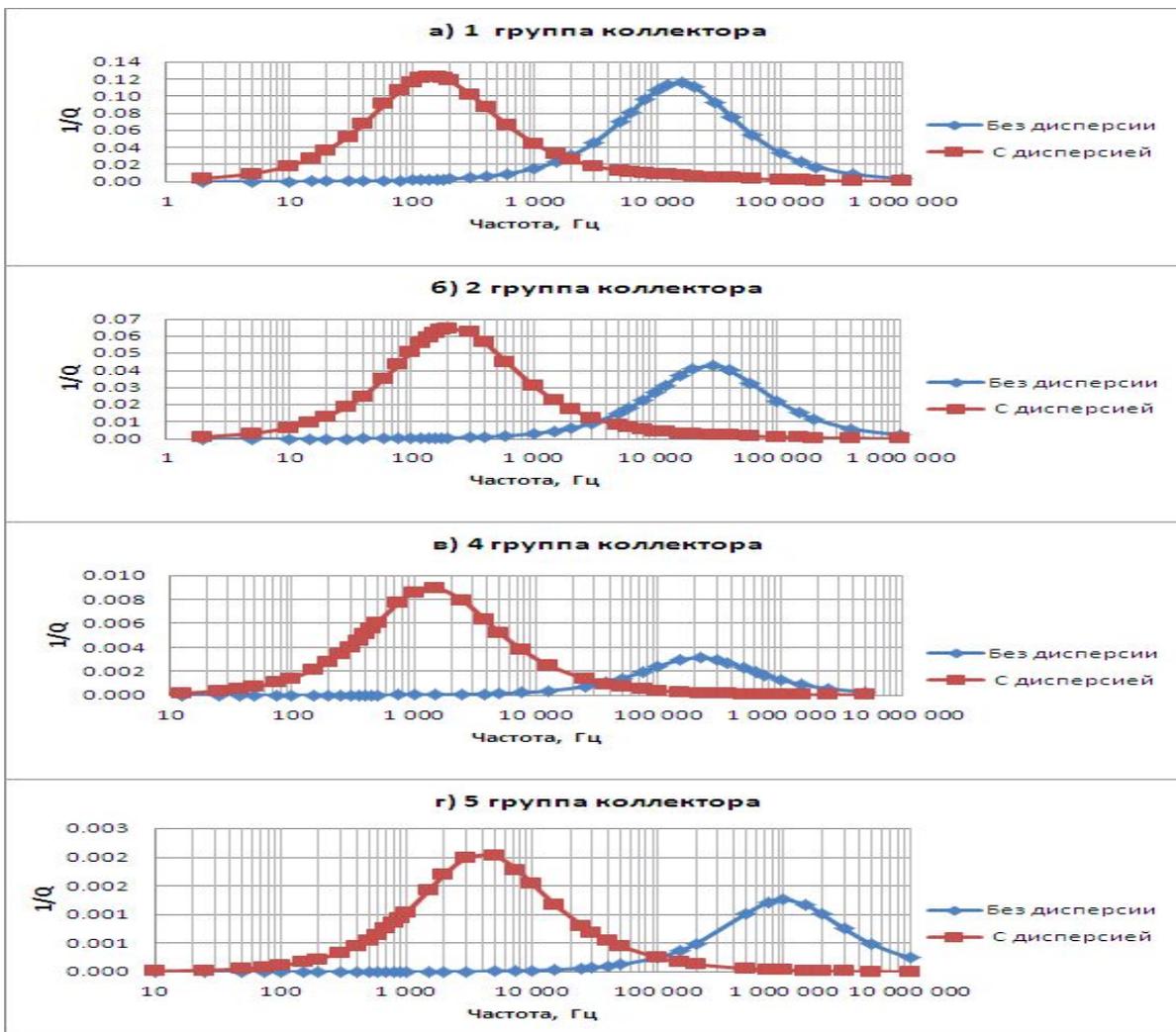


Нормальное  
распределение



Прямоугольное  
распределение

# Влияние дисперсии проницаемости на спектры затухания для коллекторов различных групп ( по Дорогиницкой Л.М.)



## Результаты исследования влияния микронеоднородности пористой среды на спектры затухания волн в реальных горных породах

1. Показано влияние микронеоднородности свойств порового пространства осадочных горных пород на характер частотно-зависимого затухания в модели Био.
2. Проведены расчеты влияния характера распределения времен релаксации на спектры затухания в рамках модели стандартного линейного тела для 2 типов распределений с различными параметрами функции плотности вероятности
3. Проведены расчеты спектров затухания упругих волн в рамках теории Био с учетом дисперсии проницаемости для 4 типов пород-коллекторов ( по классификации Дорогиницкой Л.М.)

# Моделирование сред с известными электрическими свойствами

Для верификации программ для расчетов УЭС среды необходимо иметь тестовые модели среды с известными электрическими параметрами вмещающей среды и включений с УЭС, отличными от УЭС среды.

Отработана технология создания модели среды с цилиндрическими включениями для 3 соотношений УЭС вмещающей среды и включений.

Кубическая модель среды с цилиндрическими включениями.

Размер 50x50x50

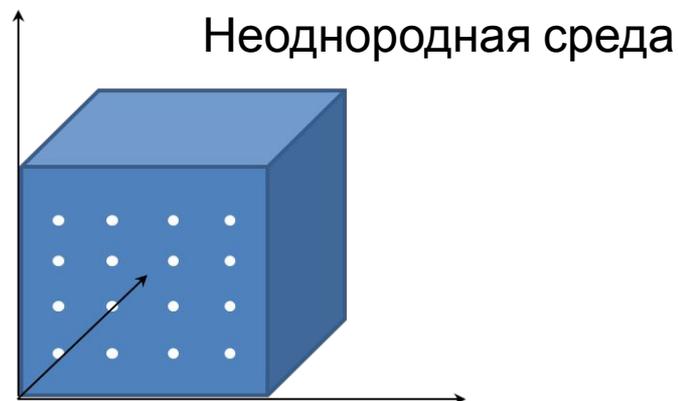
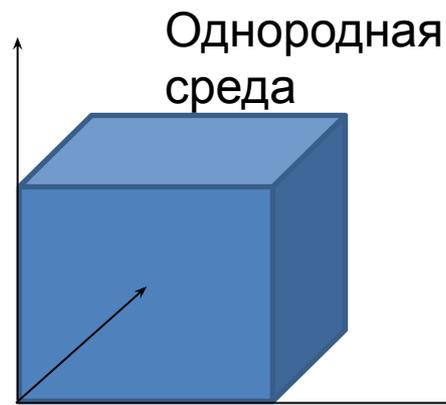
Диаметр включений 3 мм

Пористость 20 %

Шаг сетки 10 мм

УЭС среды 9 ом\*м

Направление измерения	R, Ом		
	$r=\infty$	$r=1$	$r=0$
X	251.0	215.0	240.0
Y	224.0	152.0	68.0
Z	254.0	208.0	243.0



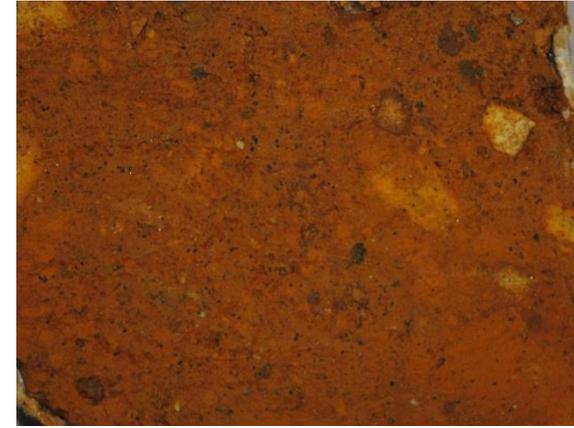
# Исследование петрофизических свойств вулканогенных пород



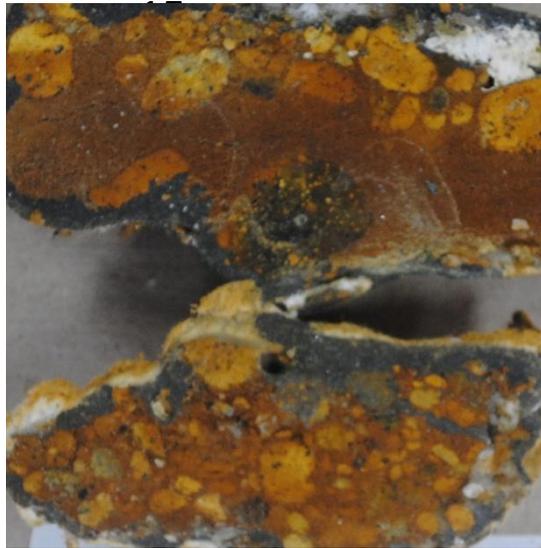
КН



КН



КН



КН  
-18



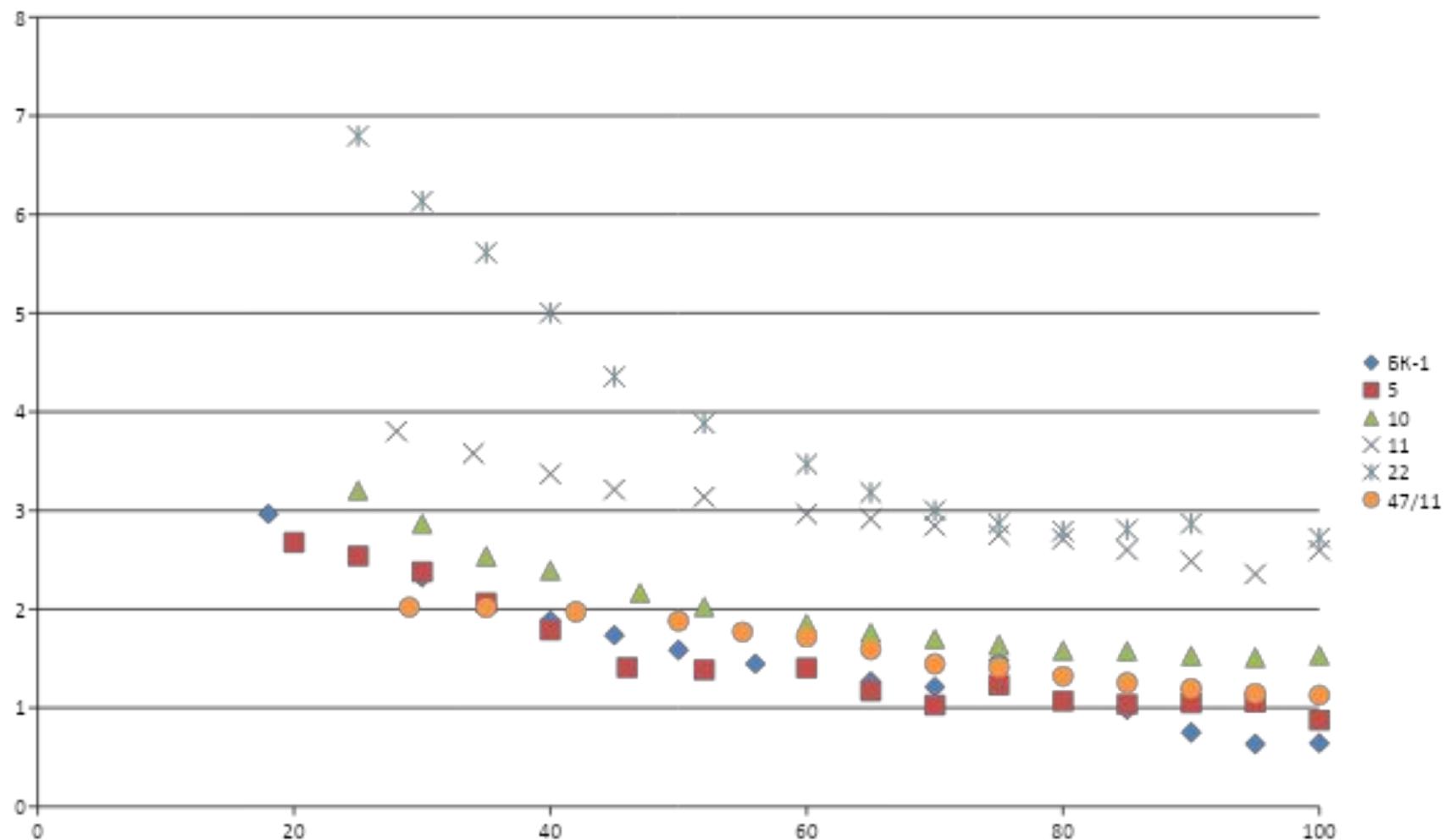
КН  
-19

## Результаты определения петрофизических свойств вулканических пород

№ обр.	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Кп,	Кпр,	УЭС*
	объемная	мин	%	мД	Ом*м
КН-15	1.45	2.12	31.46	9.01	85.38
КН-16	1.34	1.86	27.94	39.00	15.70
КН-17	1.10	2.31	52.59	2069.36	148.41
КН-18	1.36	2.15	36.74	334.09	83.46
КН-19	1.76	2.37	25.70	397.44	122.10

\* УЭС образцов измерено при естественном насыщении

Зависимость УЭС растворов от температуры



# Выводы

1. Исследование влияния литологических, петрофизических свойств пород коллекторов в различном состоянии на распространение упругих волн с использованием понимания микромасштабных процессов могут повысить уровень достоверности прогнозирования и диагностики залежей углеводородов
2. Микронеоднородность фильтрационно-емкостных свойств, обусловленная сложностью структуры порового пространства коллекторов, оказывает влияние на макрохарактеристики пород.
3. Создание моделей сложных сред обеспечивает верификацию программ расчета сопротивления таких сред
4. Вулканогенные породы имеют сложное строение, существенно отличающееся от обычных терригенных коллекторов нефти и газа. Это обстоятельство обуславливает необходимость модификации стандартных и общепринятых методик