



Математическое моделирование анизотропных упругих свойств сланца Баженовской свиты

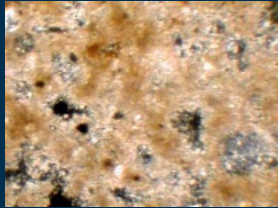
Баяк И.О., Березина И.А., Краснова М.А., Насимов Р.М.,
Тихоцкий С.А, Цельмович В. А.

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН

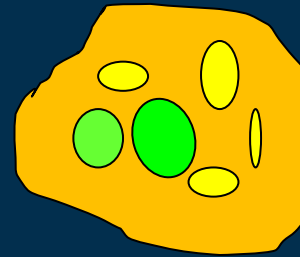
Содержание

- Понятие математической модели физических свойств
- Основные принципы математического моделирования физических свойств
- Этапы построения математической модели упругих свойств сланца Баженовской свиты
- Определение параметров модели
- Причины неуспешного моделирования упругих свойств
- Возможное использование математической модели упругих свойств породы

Математическая модель физических свойств



Реальная порода



Модельная среда



Параметры модели

Физические свойства компонент
Пористость
Форма зерен
Форма пор
Форма трещин
Ёмкость трещин
Степень связности пустот
Параметр ориентации пустот

Часть параметров может быть известна

Измерения физических свойств

$$\Psi(\text{параметры}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{P_{\text{exp}} - P_{\text{theor}}(\text{параметры})}{P_{\text{exp}}} \right]^2$$

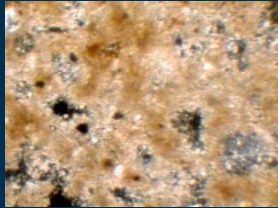


Уравнения связи

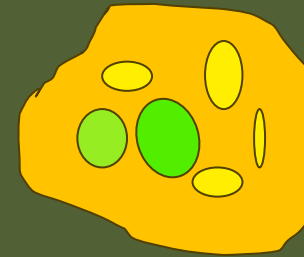
Физические свойства = F(Параметры модели)



Математическая модель физических свойств



Реальная порода



Математическая модель физических свойств

Модельная среда



Параметры модели

Физические свойства компонент
Пористость
Форма зерен
Форма пор
Форма трещин
Ёмкость трещин
Степень связности пустот
Параметр ориентации пустот

Часть параметров может быть известна



Уравнения связи

Физические свойства = F(Параметры модели)

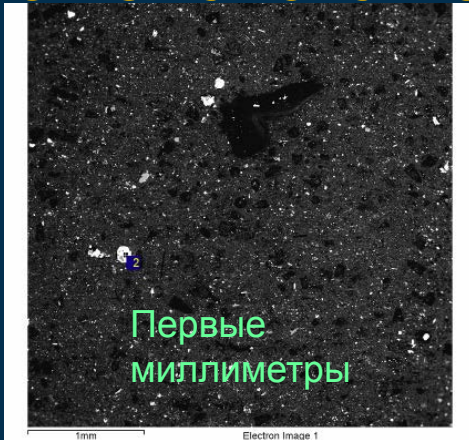
Измерения физических свойств

$$\Psi(\text{параметры}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{P_{\text{exp}} - P_{\text{theor}}(\text{параметры})}{P_{\text{exp}}} \right]^2$$

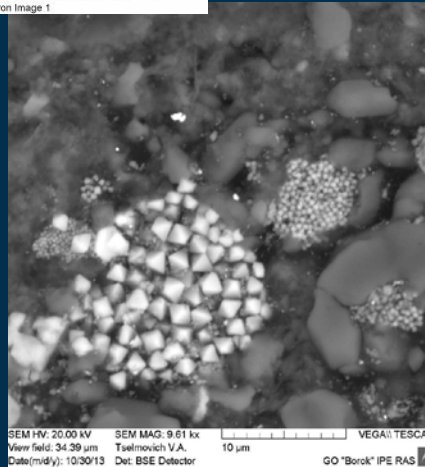
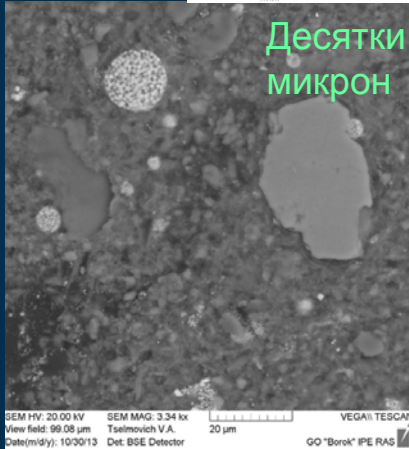


Разномасштабное строение и минеральный состав сланца Баженовской свиты

В плоскости
напластования

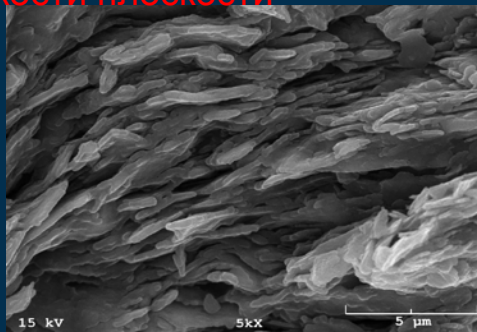


Десятки
микрон



Перпендикулярно плоскости
напластования

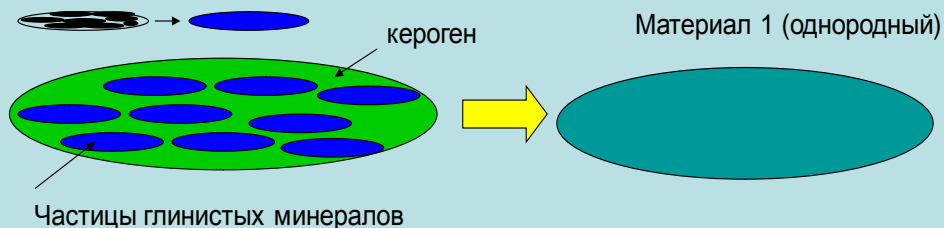
Первые
микроны



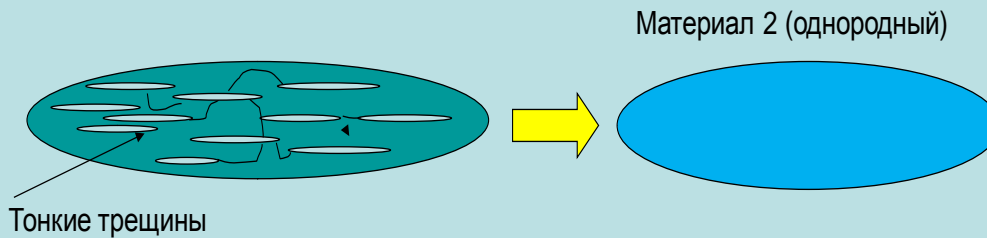
Минерал	Объемная концентрация, %
Кварц	46
Калиевый полевой шпат	0.8
Плагиоклазы	6
Кальцит	1.3
Доломит	0.3
Пирит	5.4
Аморфное в-во+кероген	14
Каолинит	2.1
Хлорит	1.3
Иллит + смешаннослойные мин. (10% - иллит +14% иллт-сметит)	24

Этапы построения модельной среды сланца

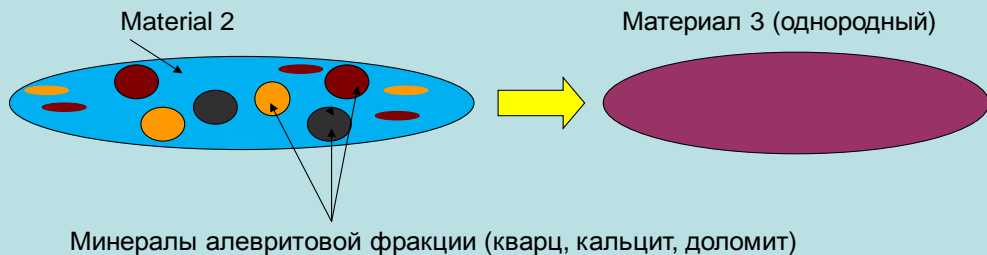
Стадия I. Внесение глинистых частиц в кероеновую матрицу



Стадия II. Внесение тонких трещин в Материал 1

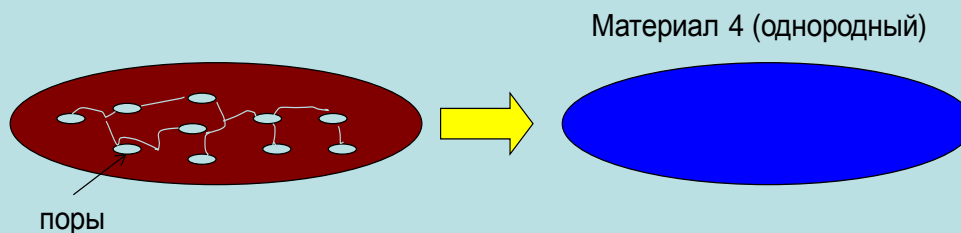


Стадия III. Внесение минералов алевритовой фракции в Материал 2

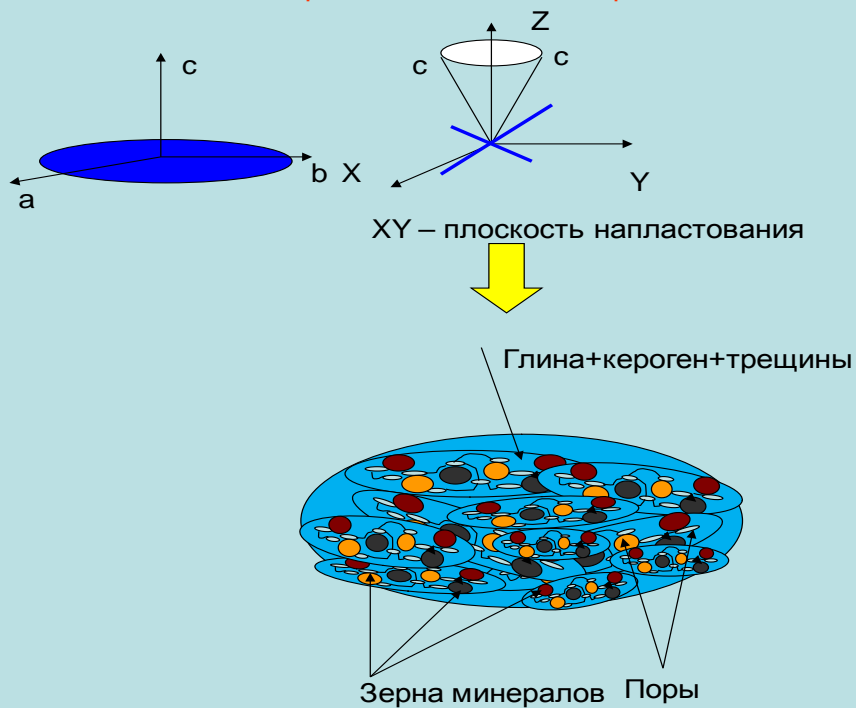


Этапы построения модельной среды сланца

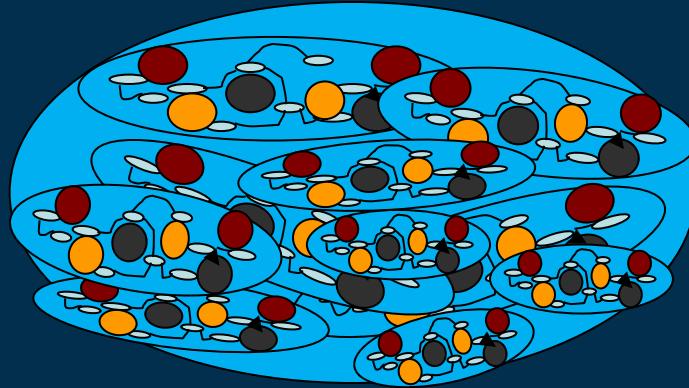
Стадия IV. Внесение пор в Материал 3



Стадия V. Вращение частиц Материала 4



Параметры модели



- аспектное отношение трещин
- объем тонких трещин
- угол между осью «с» минералов и вертикальной осью (характеристика упорядоченности глинистых частиц)
- аспектное отношение пор
- параметр связности пустотного пространства
- скорректированная пористость
- содержание керогена

Верификация модели сланца

Барнетт шейл

1. Лабораторный эксперимент

Bayuk I., Dyauro N., Mohamed Y., Ammerman M., Chesnokov E. 3D velocity reconstruction in shale derived from limited number of measurements // Expanded Abstracts of 77-th SEG Annual Meeting. 2007. P. 1535–1538.

Баяк И.О., Дьяур Н.И. Восстановление тензора упругости глинистых сланцев по ограниченному набору измеренных скоростей с использованием теории эффективных сред // Технологии сейсморазведки. 2012. №4. С. 2–12.

2. Полевые данные

Сравнение с независимыми измерениями в вертикальной и горизонтальной скважинах

Chesnokov E., Bayuk I., Ammerman M. Determination of shale stiffness tensor from standard logs // Geophysical Prospecting. 2010. Vol. 58. P. 1063–1082.

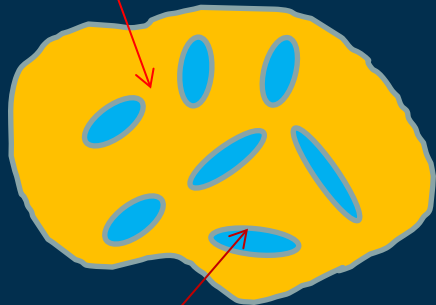
Локация перфошота в скважине по построенной анизотропной скоростной модели

Уравнение связи упругих свойств с параметрами модели

Метод обобщенного сингулярного приближения

$$\mathbf{C}^* = \left\langle \mathbf{C}(\mathbf{r}) \left[\mathbf{I} - \mathbf{g} \mathbf{C}'(\mathbf{r}) \right]^{-1} \right\rangle \left\langle \left[\mathbf{I} - \mathbf{g} \mathbf{C}'(\mathbf{r}) \right]^{-1} \right\rangle^{-1}$$

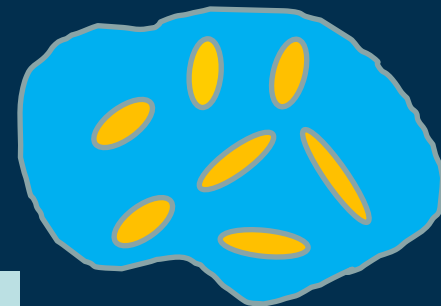
Solid



$$\mathbf{C}' \equiv \mathbf{C} - \mathbf{C}^C$$

$\langle \rangle$ усреднение по объему

$$\mathbf{C}^C = (1 - f) \mathbf{C}^{Solid} + f \mathbf{C}^{Fluid}$$



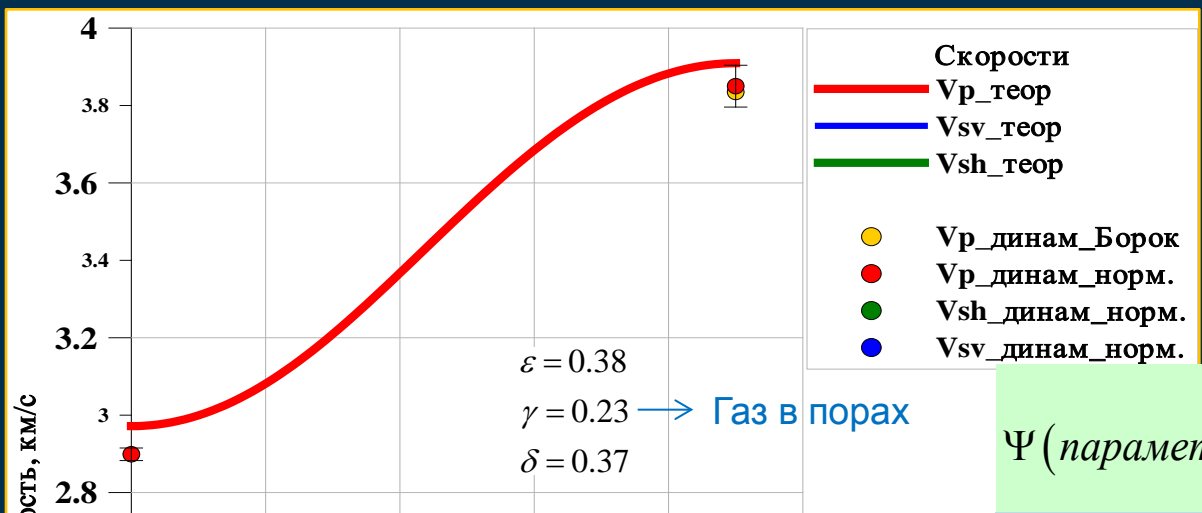
f – параметр связности пустотного пространства

Fluid

$g = \psi$ (форма компонент, связность компонент)

$$\mathbf{f} = \alpha \left[\mathbf{I} - \mathbf{Q} \mathbf{X}' \right]^{-1}$$

Результаты определения параметров модели по данным эксперимента



$$C = \begin{pmatrix} 40.5 & 9.5 & 8.5 & 0 & 0 & 0 \\ 9.5 & 40.5 & 8.5 & 0 & 0 & 0 \\ 8.5 & 8.5 & 23.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15.5 \end{pmatrix}$$

$$\Psi(\text{параметры}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{P_{\text{exp}} - P_{\text{theor}}(\text{параметры})}{P_{\text{exp}}} \right]^2$$

Soil = 0.3 ($\psi = 0.005$, max err_V = 2.6%)

- аспектное отношение трещин – 0.05
- объем тонких трещин - 0.0005%
- характеристика упорядоченности глинистых частиц – 20 градусов
- аспектное отношение пор – 0.33
- параметр связности пустотного пространства – 0.98
- скорректированная пористость - 1.3%
- Содержание керогена – 13%

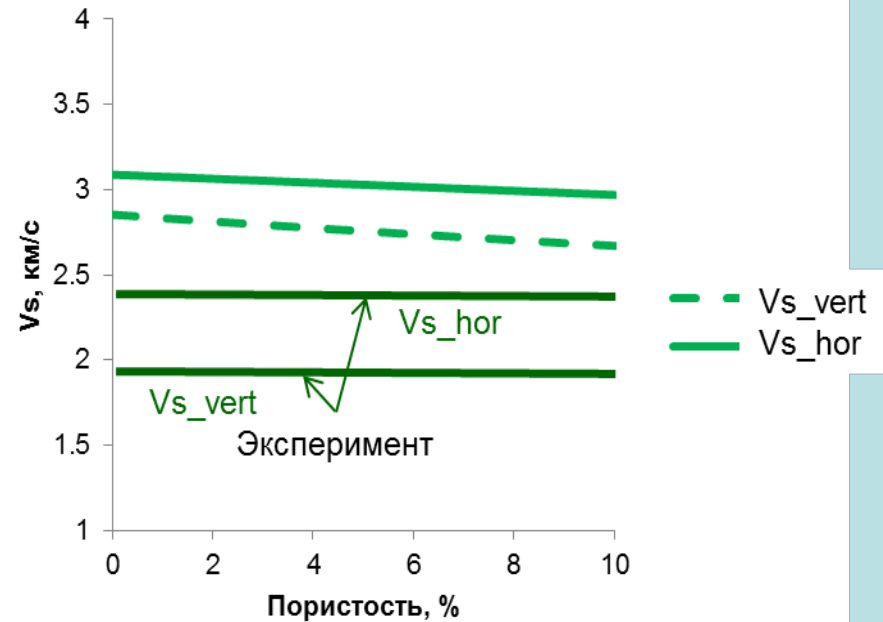
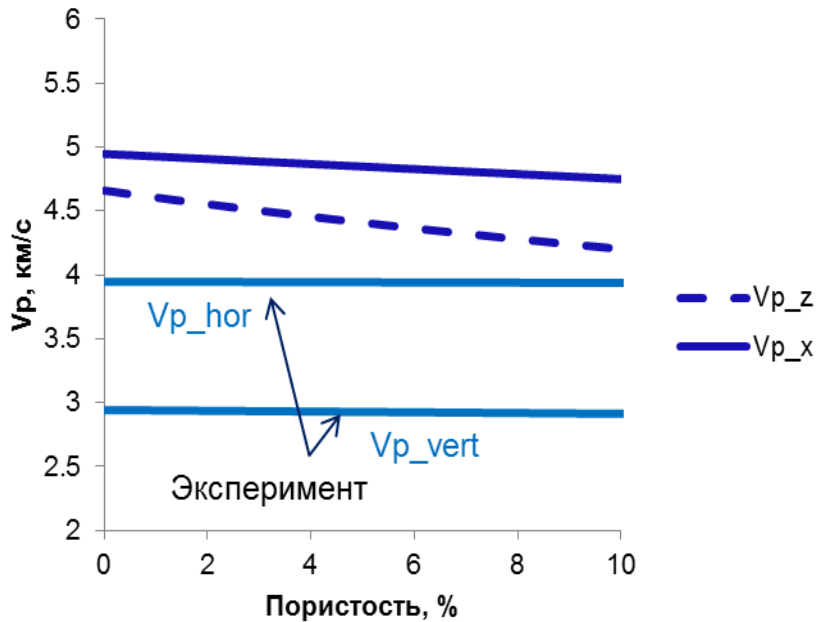
Soil = 0.7 ($\psi = 0.006$, max err_V = 2.7%)

- аспектное отношение трещин – 0.03
- объем тонких трещин - 0.02%
- характеристика упорядоченности глинистых частиц – 20 градусов
- аспектное отношение пор – 0.34
- параметр связности пустотного пространства – 0.98
- скорректированная пористость - 1.3%
- Содержание керогена – 14%

Моделирование упругих свойств без учета микроструктуры – источник неуспеха

Пустоты и кероген в полиминеральном агрегате

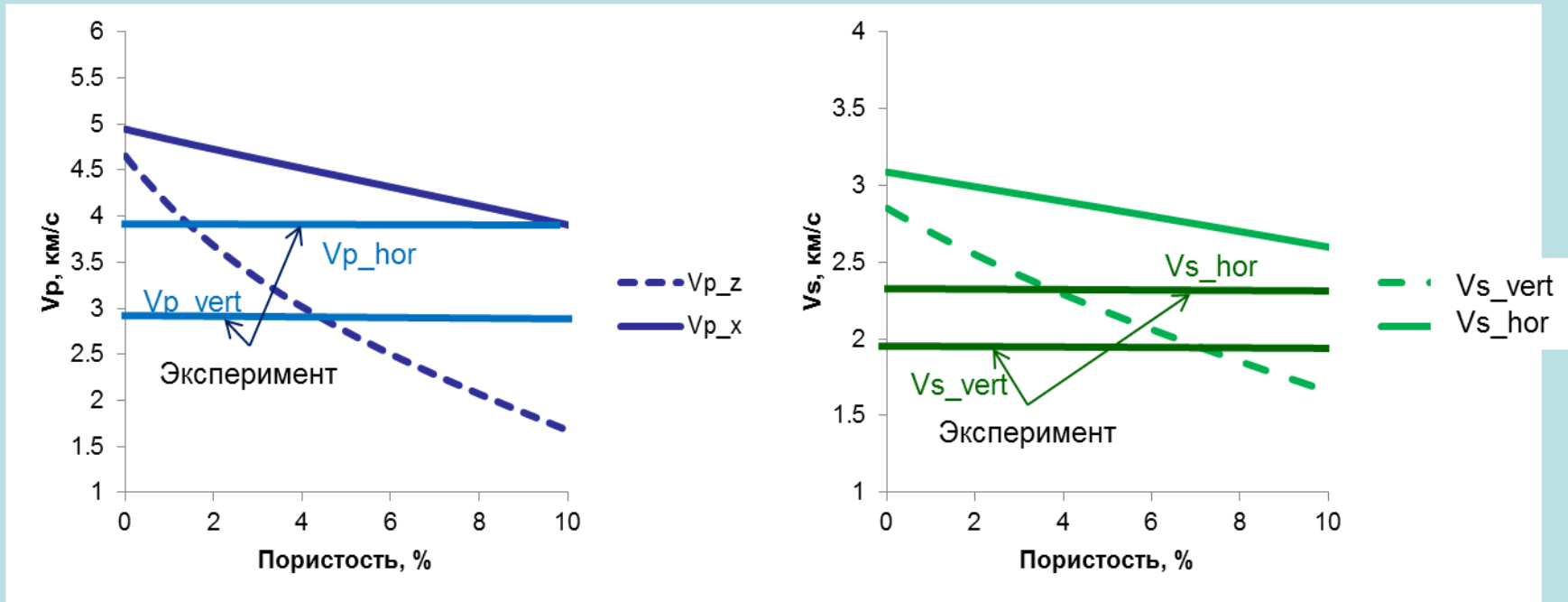
AO = 0.4



Моделирование упругих свойств без учета микроструктуры – источник неуспеха

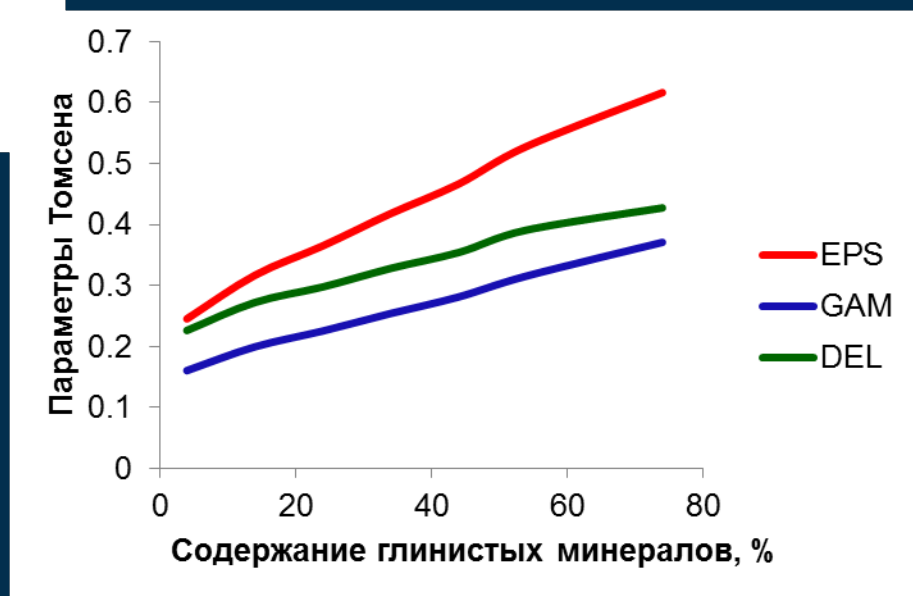
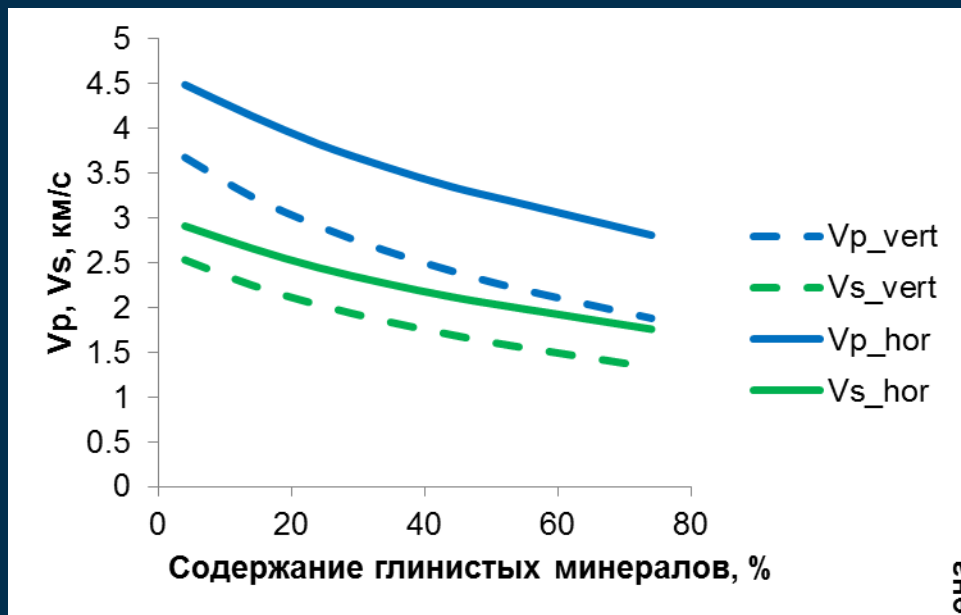
Пустоты и кероген в полиминеральном агрегате

AO = 0.04

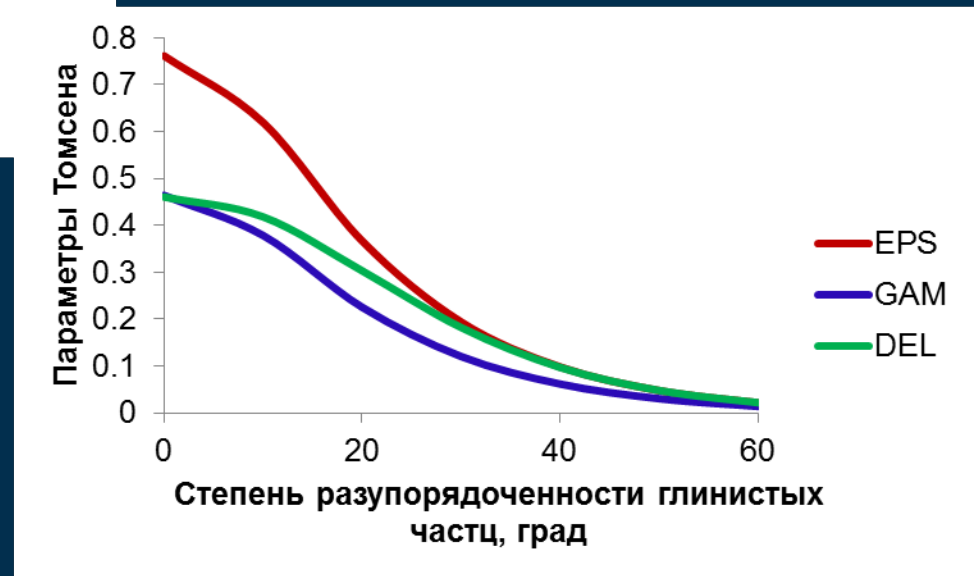
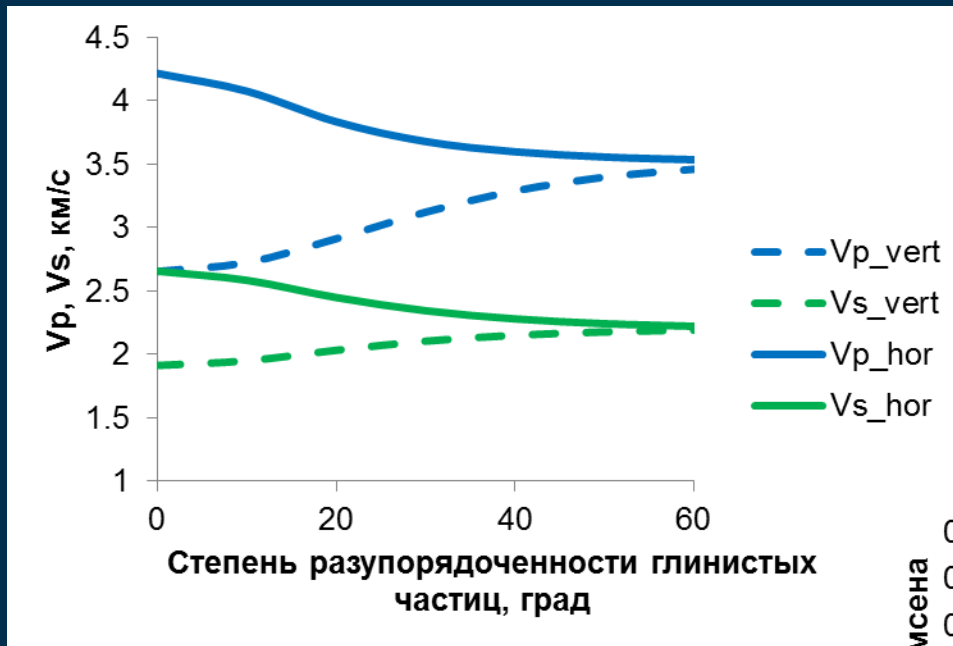


Возможное использование
математической модели
упругих свойств сланца

Влияние глинистости на упругие свойства породы



Влияние степени упорядоченности глинистых частиц на упругие свойства



Возможное использование математической модели упругих свойств сланца

ПОВЫСИТЬ ТОЧНОСТЬ ЛОКАЦИИ
МИКРОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ
ГИДРОРАЗРЫВА

Выводы

- На основе результатов анализа разномасштабного строения и данных об упругих свойствах сланца Баженовской свиты построена математическая модель анизотропных упругих свойств породы.
- Определены параметры математической модели упругих свойств породы, знание которых позволяет:
 - прогнозировать упругие свойства в случае отсутствия экспериментальных данных,
 - прогнозировать степень изменения упругих свойств и их анизотропии в случае изменения одного или нескольких параметров модели,
 - повысить точность локации микроземлетрясений при мониторинге гидроразрыва.
- Обоснована важность учета внутреннего строения породы для успешного построения математической модели ее упругих свойств.

Спасибо за внимание!