ГЕОТЭК
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР

17-19 МАРТА 2026
КАЗАНЬ

Петроупругое моделирование как инструмент снятия неопределенностей при интерпретации ГИС

Морозова Елена Анатольевна
Ведущий специалист отдела петрофизики

ПЕТРОФИЗИКА

ПУМ не только для сейсмических проектов

Проблемы:

Неоднозначность решений

Одинаковые параметры - разные литотипы и насыщение

Чем меньше скважинных данных и априорной информации, тем больше неопределенность



Поможет:

Восстановить кривые ГИС

Определить петротип

Уточнить насыщение

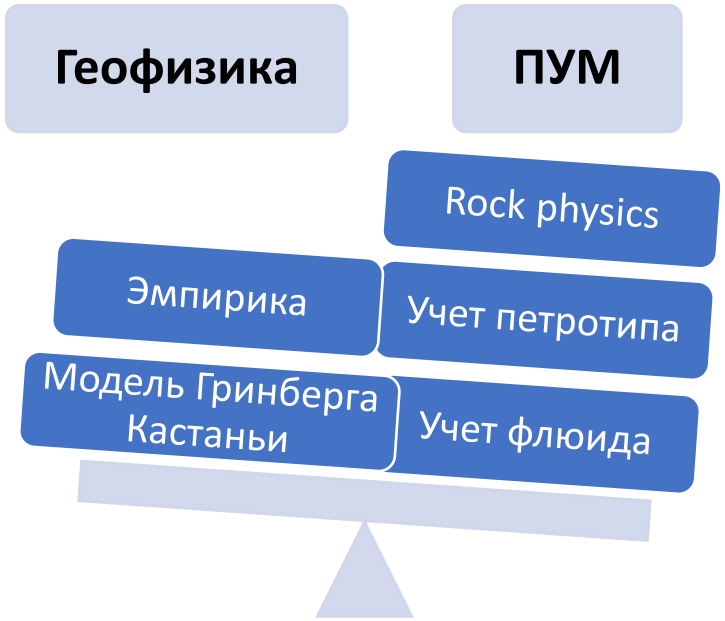
Не конкуренция, а поиск истины

Характеристика	Стандартный подход (Регрессии, Вилли, минералогическая модель)	Петроупругое моделирование
Базовая основа	Статистика, эмпирические корреляции	Фундаментальные законы физики (теория упругости)
Поровое пространство	Учитывается только объем	Учитывается форма, геометрия и тип контакта
Связанность свойств	DTp, DTs, RHOB часто считаются отдельно	DTp, DTs, RHOB и модули рассчитаны из одной модели
Флюид	Видит только плотность флюида	Видит сжимаемость флюида
Прогноз вне выборки	Плохо работает, требует уточнения регрессий	Работает, так как преимущественно основан на законах физики
Результат	Цифра (может быть математически красивой)	Физически возможная реальность

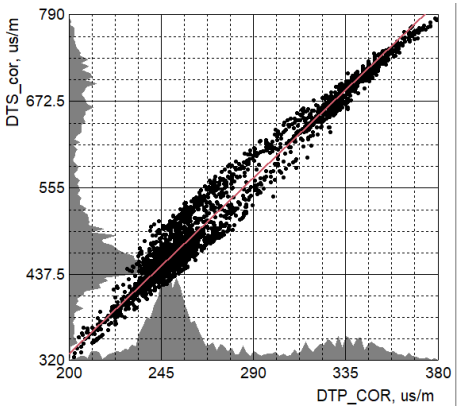
Входные данные для моделирования

Минерал/Среда	Плотность, г/см3	K, ГПА	MU, ГПА	Примечание
Кварц	2.65	37-38	44	Один из самых распространенных породообразующих минералов
Кальцит	2.71	77	32	Основной минерал карбонатных пород (известняков)
Доломит	2.87	95	45	Основной минерал доломитовых пород. Обладает более высокими модулями упругости по по сравнению с кальцитом
Глина(каолинит/ иллит)	2.5-2.55	20-25	7-9	Значения сильно зависят от типа глинистого минерала, пористости и связанной воды, типичные типичные значения для твердой фазы
Пирит	4.81	147	133	Очень жесткий и тяжелый минерал, часто встречающийся в осадочных породах
Кероген	1.30	2.9	2.7	Органическое вещество, рассеянное в материнских породах. Характеризуется низкими упругими модулями
Вода(пластовая)	1.0-1.1	2.2-2.4	0	Практически несжимаема в сравнении с газом. Модуль сдвига равен нулю, так как жидкость не жидкость не сопротивляется сдвиговым деформациям
Нефть(в пласте)	0.6-0.9	0.5-1.5	0	Сжимаемость нефти сильно зависит от количества растворенного газа и давления. Для тяжелой тяжелой нефти модуль выше, для легкой — ниже
Газ(природный)	0.1-0.3	0.01-0.1	0	Наиболее сжимаемая среда. Модуль объемного сжатия очень низкий и сильно зависит от давления. При высоких давлениях газ может приближаться к нижнему порогу жидкостей

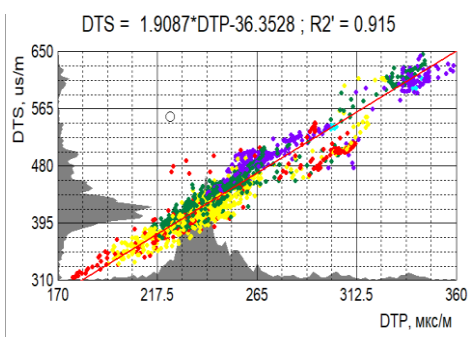
Восстановление кривой DTs

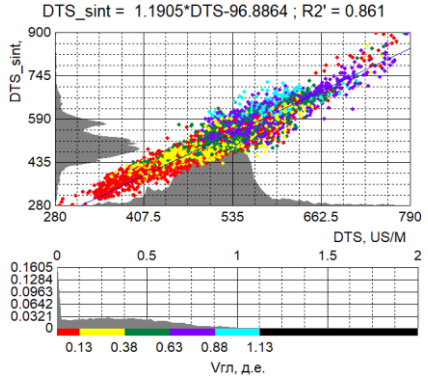


Регрессия - простое, но самое грубое приближение

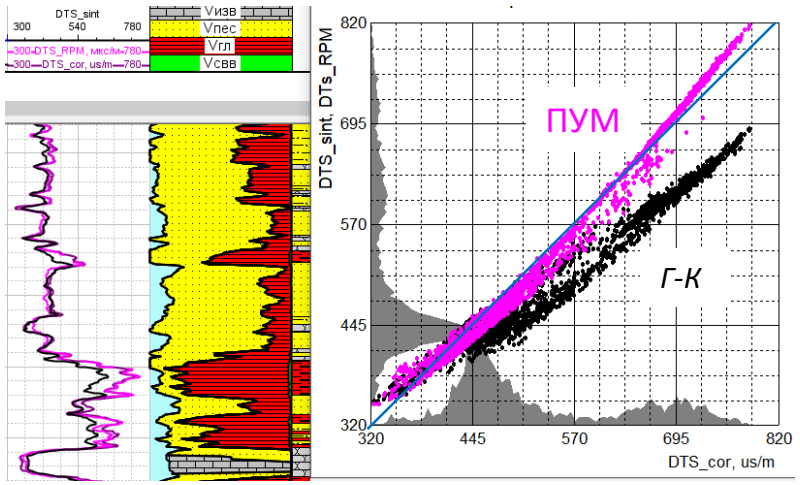


Метод Гринберга-Кастаньи - точнее, учет литологии





Восстановление кривой в другой скважине



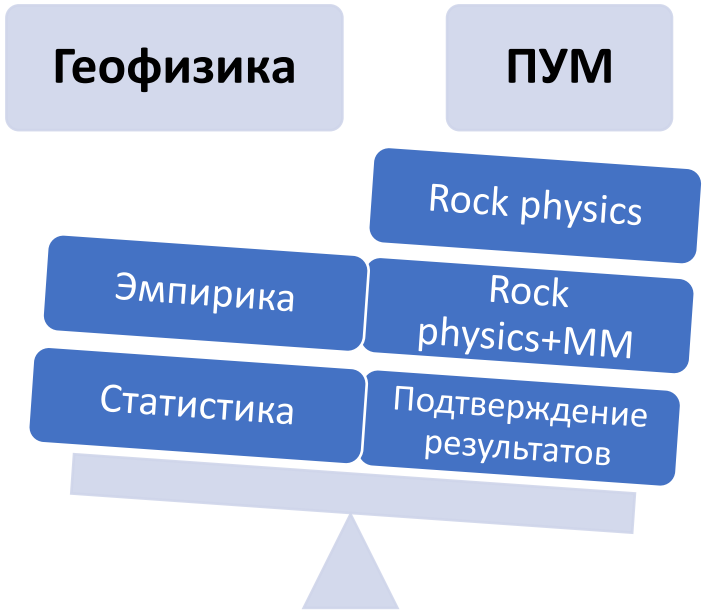
Чем лучше ПУМ

Метод, который физически согласовал синтезированную DTs не только с Dtp, но и с остальными методами каротажа с учетом литологии и насыщения

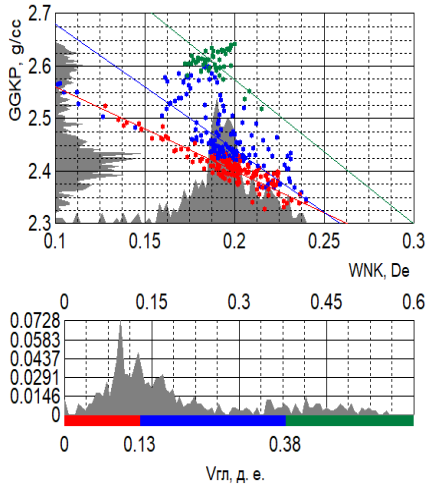
Дает наиболее точное восстановление DTs, потому использует уравнения физики горных пород для проверки согласованности данных

Синтез кривой стоит значительно дешевле, чем бурение новой скважины или убытки от неверного решения, принятого на основе неполных данных

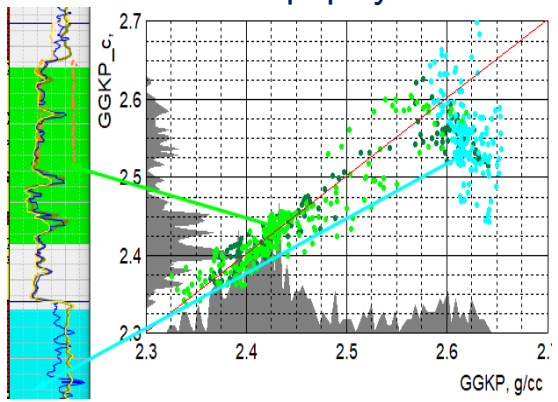
Восстановление кривой плотности



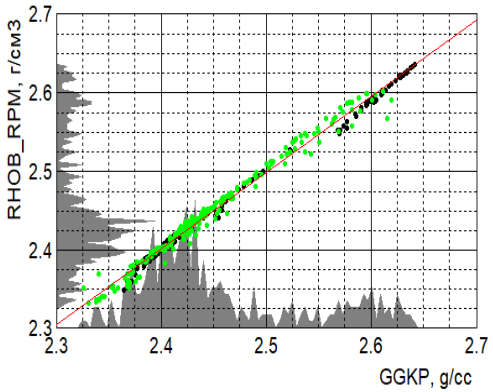
Получение эмпирической зависимости



Применение эмпирической формулы



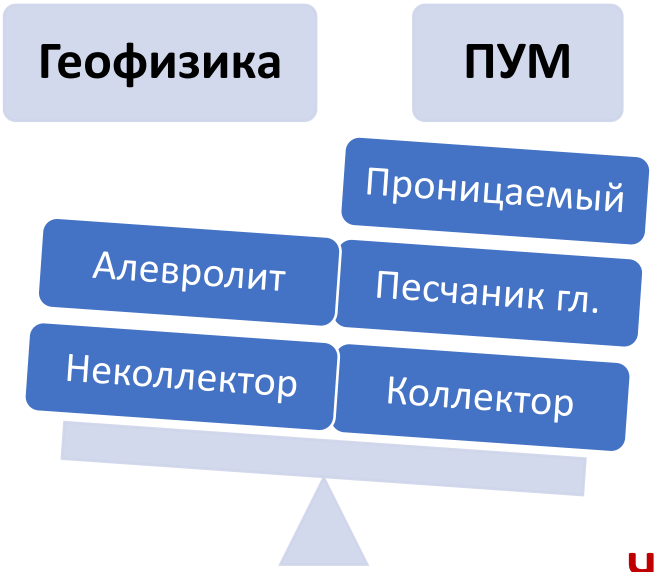
Теоретические из ПУМ

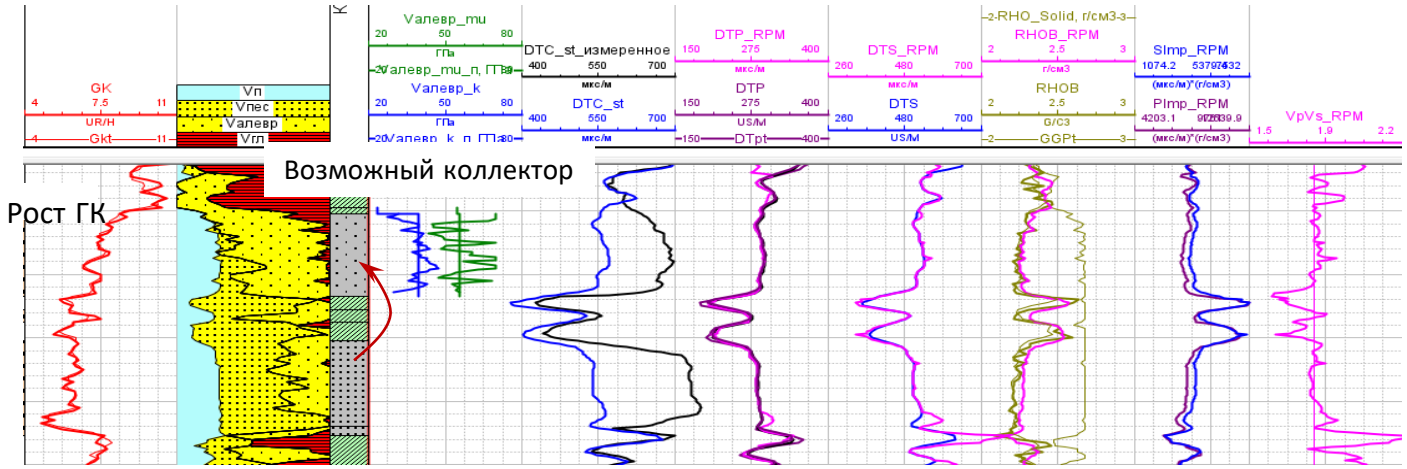


ПУМ как подтверждение и проверка результата

- ПУМ и ММ связывает все имеющиеся данные с недостающей плотностью через литотип
- Учесть насыщение при построение ММ сложнее, чем при ПУМ
- Синтетическая кривая плотности по ПУМ физически согласована со всеми остальными методами каротажа

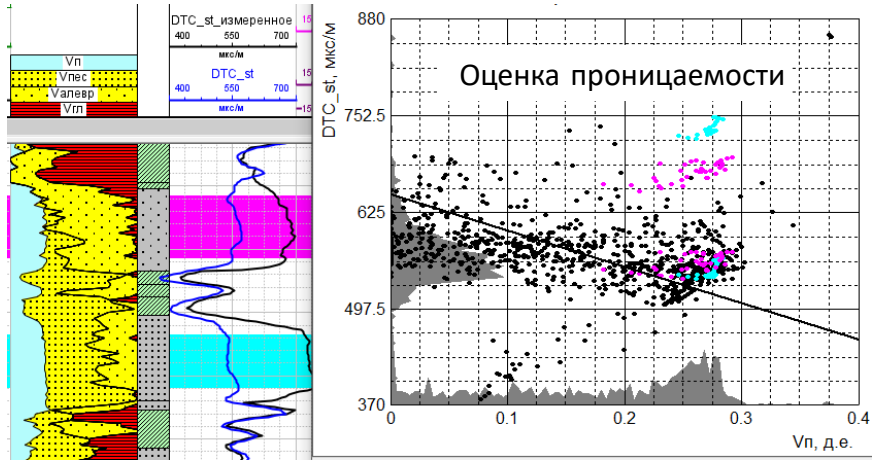
Пример 1. Определение петротипа



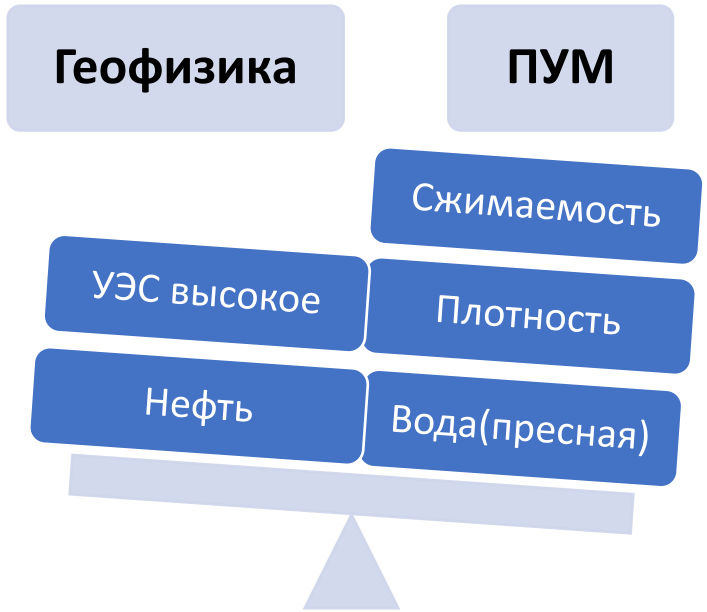


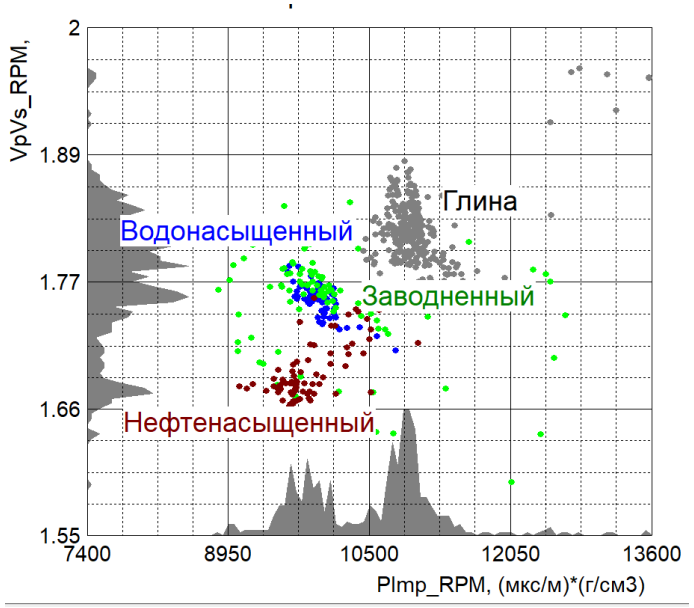
Чем помогло ПУМ

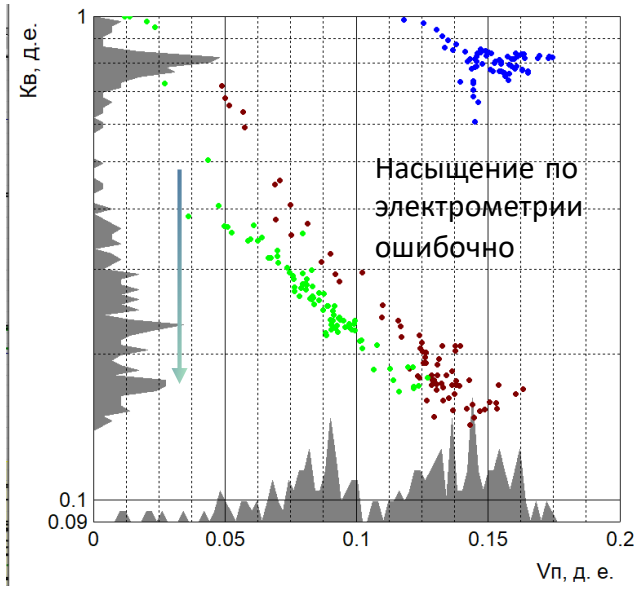
- Ответить на вопрос - может ли порода с таким литотипом физически существовать в данных ТБУ
- Защитить от математически красивого, но физически невозможного решения
- Скорректировать минералогическую модель и уточнить литологию
- Показать, что «сомнительный» интервал относится к проницаемым и найти «невидимый» коллектор



Пример 2. Уточнение насыщения при пресном заводнении





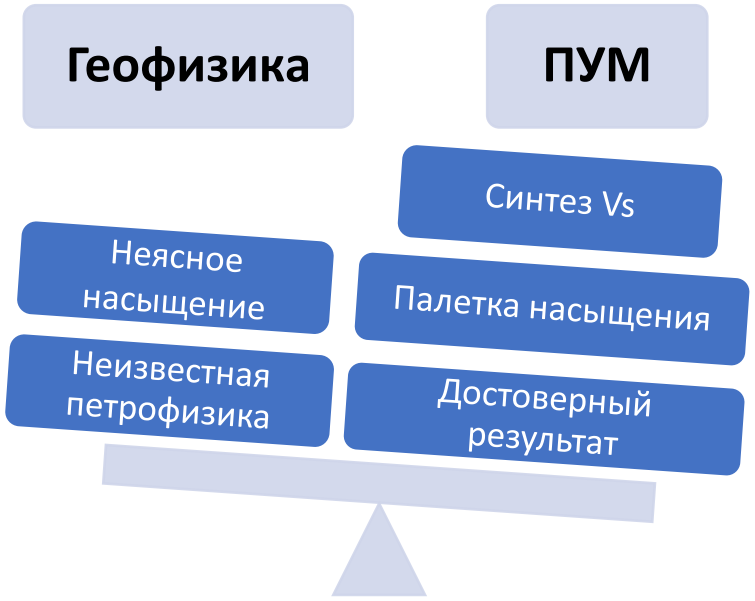


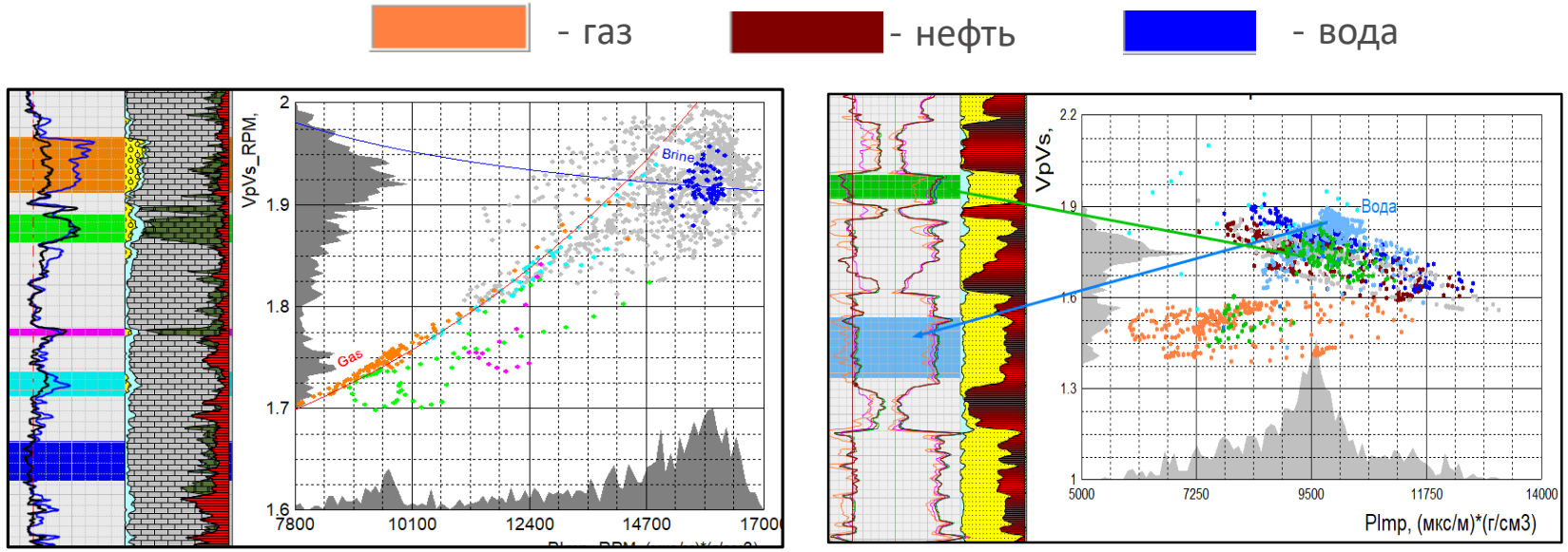
Чем помогло ПУМ

- Разделить влияние скелета и флюида и показать с учетом не только плотности, но и сжимаемости, что пласт заводнен водой

** В газонасыщенных пластах разделение будет еще более контрастным за счет большой разницы сжимаемости воды и газа, при слабом влиянии минерализации пластовых вод*

Пример 3. Верификация насыщения





Скв.1 Скв.2

Чем помогло ПУМ

- Рассчитать палетки насыщения с пороговыми значениями по газу/нефти/воде
- Определить насыщение на качественном уровне по отношению VpVs с синтезированной кривой Vs в ПУМ и реальной Vp
- Получить более достоверный результат при неизвестной минерализации пластовых вод и без наличия стандартных признаков

Выводы

1. **Синтез данных:** ПУМ дает наиболее точное восстановление DTs потому, что использует уравнения физики горных пород для проверки согласованности данных.

2.**Контроль качества:** ПУМ верифицирует литологию, отсеивая физически невозможные решения минералогических моделей.

3.**Надежное насыщение:** ПУМ разделяет нефть и пресную воду там, где электрометрия бессильна и верифицирует характер насыщение при неопределенности петрофизики и отсутствии явных стандартных диагностических признаков.

Таким образом, ПУМ позволяет снять неопределенности, возникающие из-за неполноты данных, сложной литологии и неоднозначности насыщения, что в итоге ведет к минимизации геологических рисков и более обоснованным решениям.

.

ГЕОТЭК
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР

17-19 МАРТА 2026
КАЗАНЬ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Морозова Елена Анатольевна
Ведущий специалист отдела петрофизики

ПЕТРОФИЗИКА