Восстановление упругих свойств среды по данным исследований старого фонда скважин в системе "ПРАЙМ"

Докладчик: Морозова Елена Анатольевна, ведущий методист, к.т.н.

Научно-производственный центр ГеоТЭК
г.Уфа, 2024 г.



Вопрос пользователей:

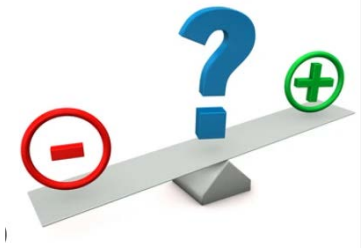
Сможем ли мы, используя систему ПРАЙМ, определить упругие свойства объекта ** по ограниченным исходным данным старого фонда скважин?**



Чтобы ответить необходимо:

- **Проанализировать входную информацию и оценить ее качество;**
- **Сформировать достоверные входные данные;**
- **Построить минералогическую модель;**
- **Выполнить моделирование упругих свойств среды на основе теории эффективных сред Rock Physics;**
- **Оценить качество модели;**
- *Оценить возможности прогноза емкостных свойств и разделения литотипов.

Приступаем!



Анализ входной информации и оценка качества

1. Условно «простой» разрез → Нет достоверного описания разреза, поэтому условно разделен на две части – терригенно-глинистую и карбонатную

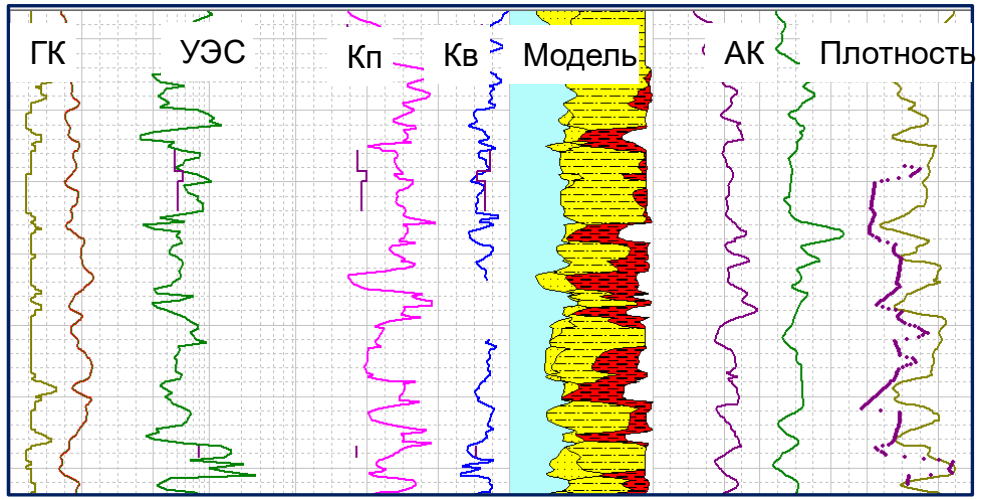
2. Достаточно полный комплекс ГИС методами РК, АК, ГГКп → Имеются пропуски и разрывы записи по глубине
Не во всех интервалах есть непрерывные кривые

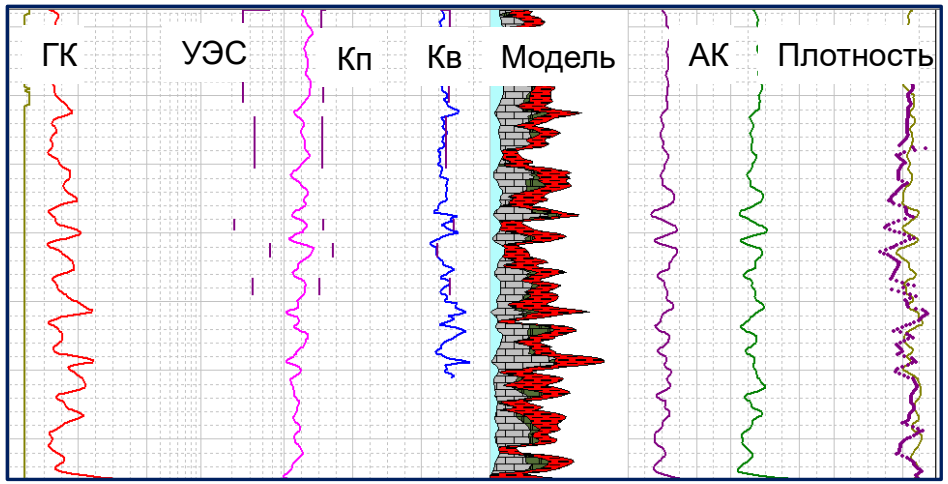
3. Рассчитаны непрерывные кривые объемных долей компонентов разреза (РИГИС) → Некорректная минералогическая модель, $\sum V_i \neq 1$

4. Таблица с пластовыми данными УЭС, Кп, Кнг (РИГИС) → Данные ГИС и РИГИС не согласованы

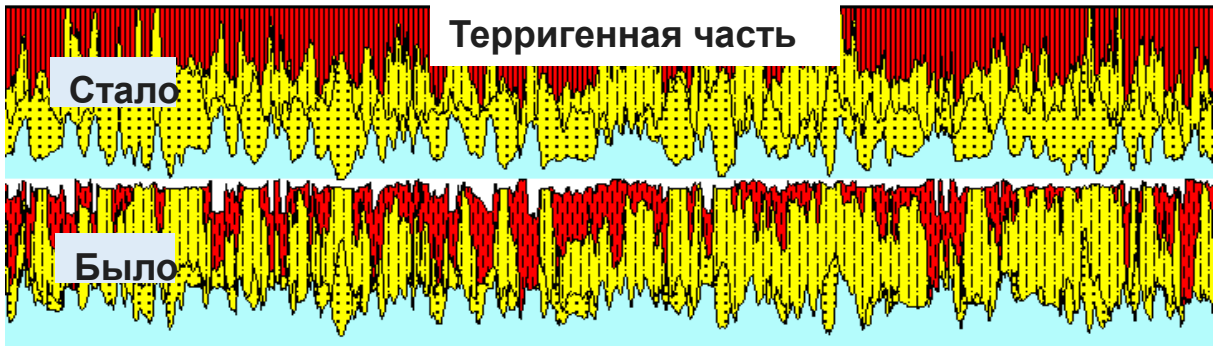
По керну есть только δ, которая не всегда согласуется с ГИС

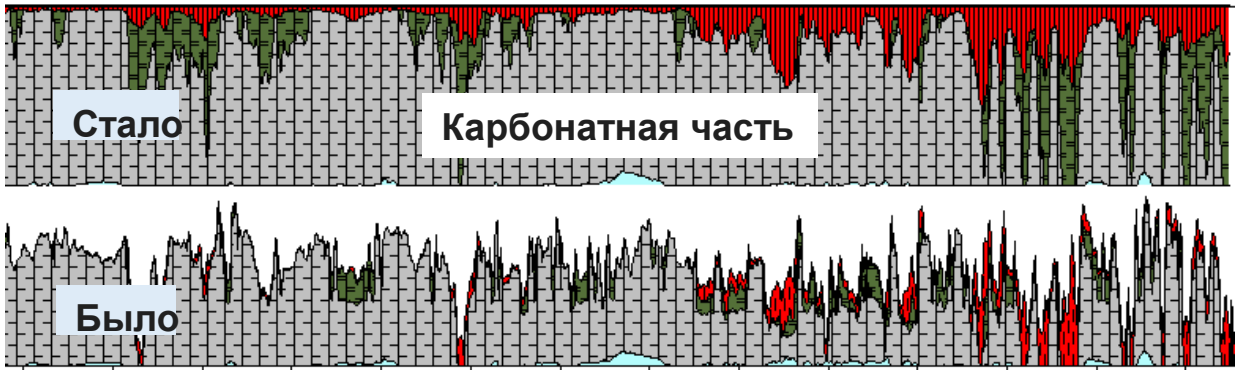
Исходные данные:





Построение минералогической модели

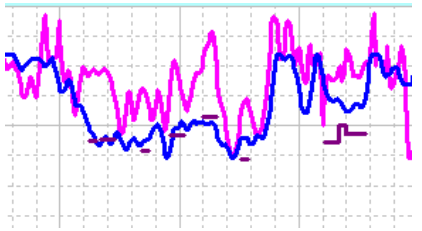


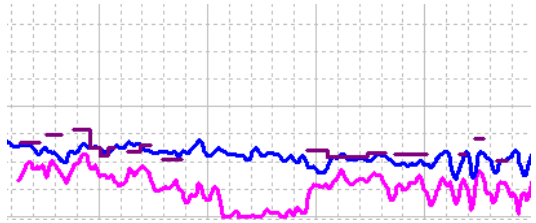


Минералогическая модель построена, получен удовлетворительный результат, баланс компонентов соблюден

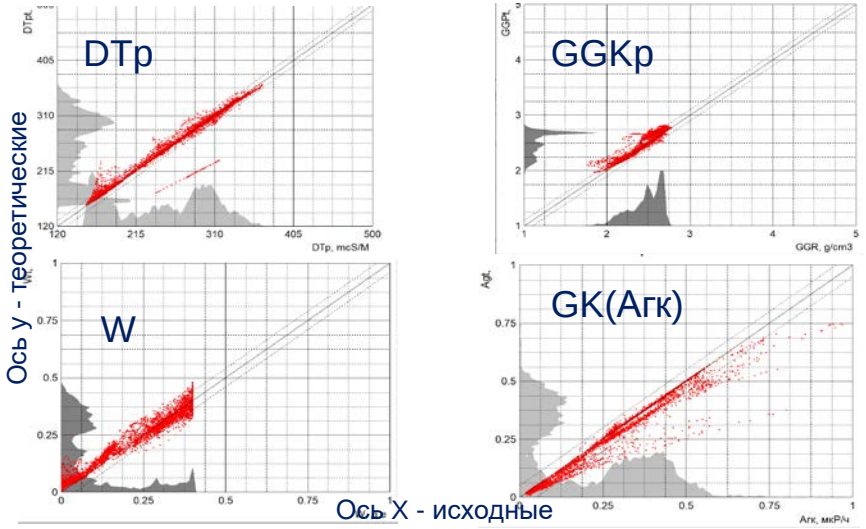
Модуль SSPE SSPE\SSPE.DLL

1. Модель строилась по основным методам ГИС – нейтронному, акустическому и плотностному каротажам, Pe не использовался.
2. Кривая W была восстановлена из НКТ (синяя непрерывная) по данным РИГИС(вишневая пластовая), исходная кривая Кр (фиолетовая) не использовалась



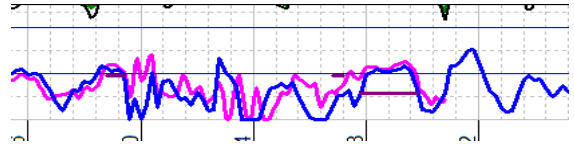


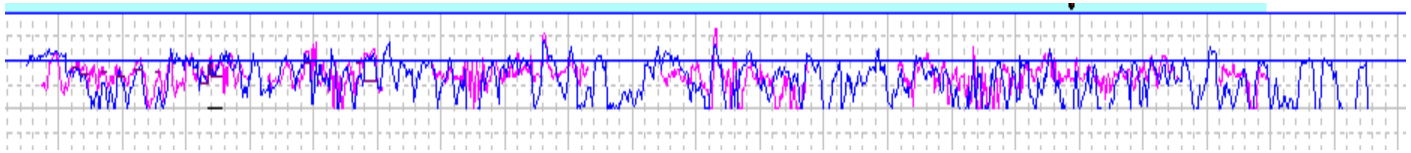
3. Основным критерием оценки достоверности модели были теоретически восстановленные кривые ГИС



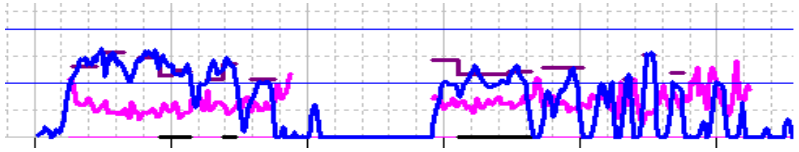
Восстановление непрерывных кривых

1. Непрерывная кривая Кв была восстановлена через пористость Vп из модели и исходной Rt (синяя), в терригенной части разреза получено удовлетворительное совпадение результатов, за исключением некоторых интервалов.

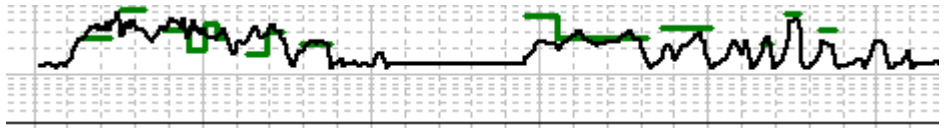


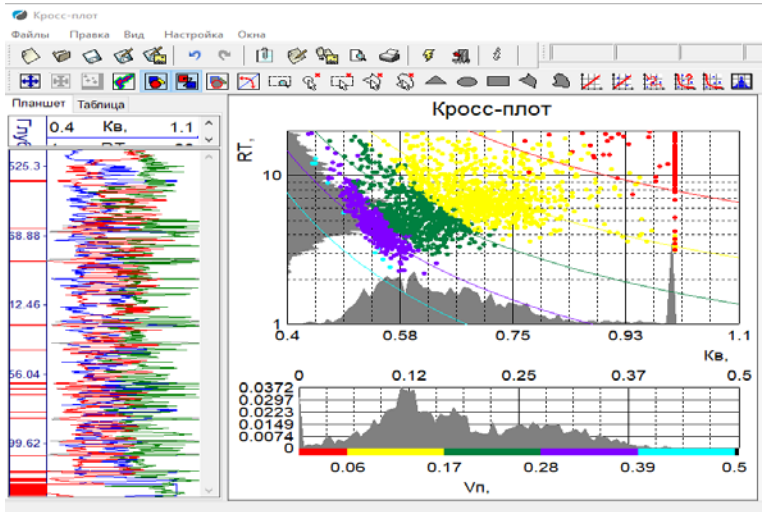


2. Кривая насыщения Кв (фиолетовая) в карбонатной части разреза совсем не согласуется с РИГИС (пластовая вишневая). Так как в этой части есть только пластовая кривая сопротивления Rt(РИГИС), то пришлось восстановить кривую Кв (синяя) по Vп из построенной модели, используя ИИ по алгоритму L-BFGS with requlariz ation с 2-мя промежуточными слоями. Получено хорошее согласование данных ИИ и РИГИС и принято решение использовать эту кривую Кв при ПУМ.



3. Используя многомерную регрессию (функционал кросс-плотов или модули интеллектуального анализа) была получена аналитическая формула для восстановления УЭС карбонатной части разреза. Сравнительный анализ показал удовлетворительное совпадение результатов с РИГИС, что явилось косвенным подтверждением корректности Кв.

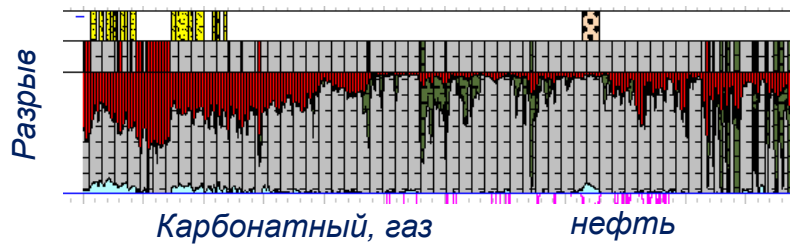




Модули DATAMINING\IAM.DLL, XPLOTDLL.DLL

Данные подготовлены, приступаем к ПУМ

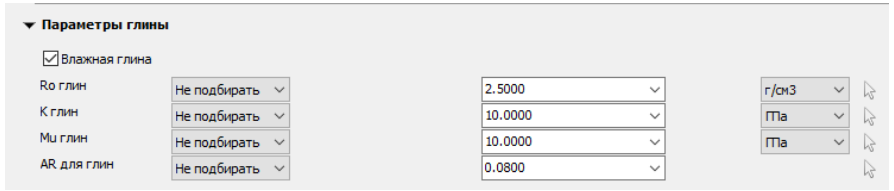
ПУМ объектов. Общие сведения.



- Моделирование упругих свойств выполнялось в 3х интервалах по разным моделям согласно литологии и насыщению;
- Параметры геологии (коэффициенты открытой пористости, водонасыщенности, объемные доли минералов) задавались в виде рассчитанных непрерывных кривых;

Полное название	RHO	RHO от	RHO до	Е.и. RHO	Модуль сжатия K	K от	K до	Е.и. K	MU	MU от	MU до	Е.и. MU	AR	AR от	AR до
Полевой шпат	2.62	2.50	2.70	г/см3	37.0000	36.00	38.00	ГПа	15.00	14.00	16.00	ГПа	0.20	0.00	0.400
Кальцит	2.71	2.70	2.76	г/см3	76.7240	68.30	76.80	ГПа	30.00	27.00	32.00	ГПа	0.20	0.00	0.400
Ортоклаз	2.56	2.40	2.70	г/см3	37.4300			ГПа	17.95			ГПа	0.20	0.00	0.400
Кварц	2.65	2.64	2.66	г/см3	38.0000	36.00	39.00	ГПа	44.00	33.00	46.00	ГПа	0.10	0.00	0.400
Доломит	2.80	2.50	2.95	г/см3	70.0000	69.00	95.00	ГПа	50.00	45.00	52.00	ГПа	0.20	0.00	0.400
Пирит	4.50	4.00	5.00	г/см3	140.0000	138.0	148.0	ГПа	120.0	110.0	133.0	ГПа	0.10	0.00	0.400
Ангидрид	2.96	2.96	2.98	г/см3	56.0000	55.00	62.00	ГПа	30.00	29.00	34.00	ГПа	0.10	0.00	0.400

- Значения параметров минеральных пород (δ, κ, μ, AR) установленные по умолчанию уточнялись подбором в пределах $\pm$ 20% среднестатистического значения.
- Значения параметров глинистого минерала ($\delta_{гл}$, $\delta_{вгл}$, $\kappa_{гл}$, $\kappa_{свв}$, $\mu_{гл}$, $AR_{гл}$) задавались отдельно и уточнялись подбором в пределах допустимого в 20% диапазона.
- Для моделей контактов (терригенная часть) дополнительно задавались эффективное давление, критическая пористость, координационное число, *коэффициент трения.
- В моделях включений (карбонатная часть) учет геометрии порового пространства осуществляется по различным теоретическим моделям.

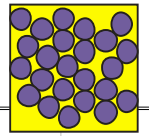


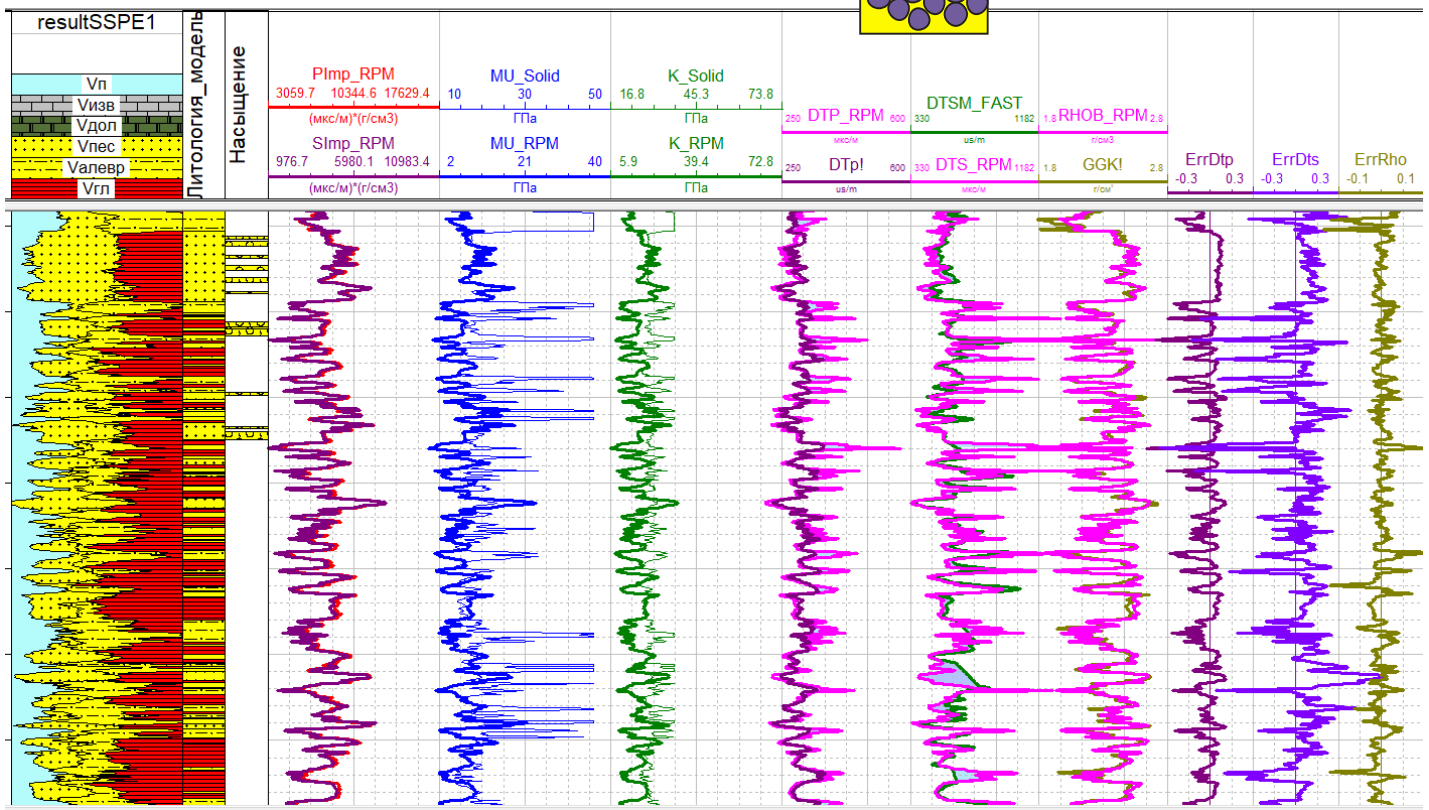
- Во всех интервалах глинистый минерал моделировался как «влажный».
- Значения P, T, $C_{плв}$, $\delta_г$, $\delta_н$, ГФ, Brie взяты из среднестатистических литературных данных.
- По установленным моделям определялись упругие свойства сухой породы, а потом по теории Gassmann выполняется флюидонасыщение пор и рассчитывались скорости продольных, поперечных волн и другие упругие свойства среды.
- Оценка модели осуществлялась по сходимости исходных (DTp, DTs, Rho) и восстановленных (DTpt, DTst, Rhot) кривых и соответствующим рассчитанным погрешностям (ErrDTp, ErrDTs, ErrRho).

Модуль RPM\RPM.DLL

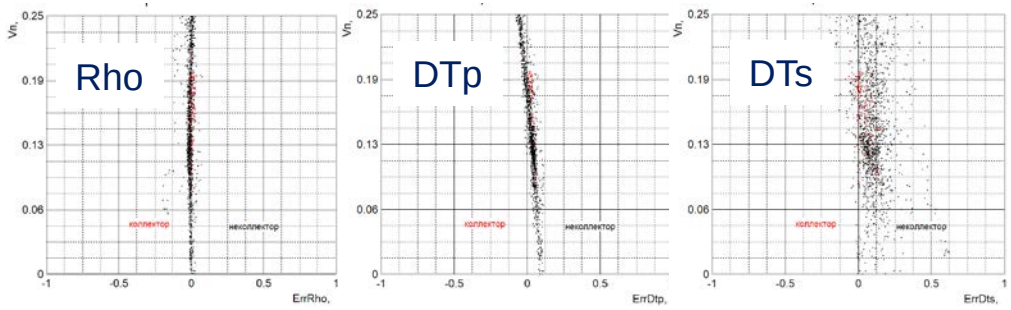
Результат ПУМ в терригенно-глинистой части разреза

➢ Модель контактов

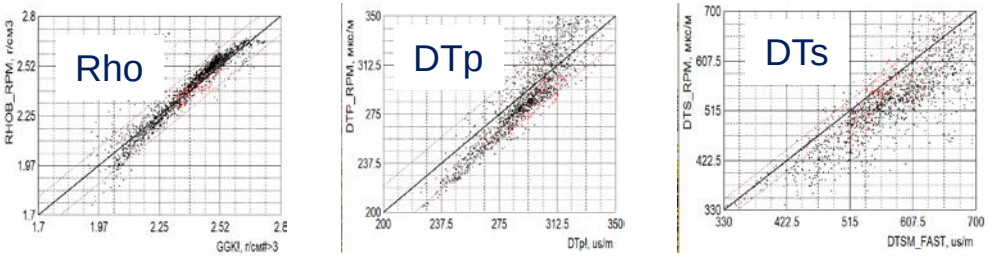




➢ Погрешности



➢ Сопоставление



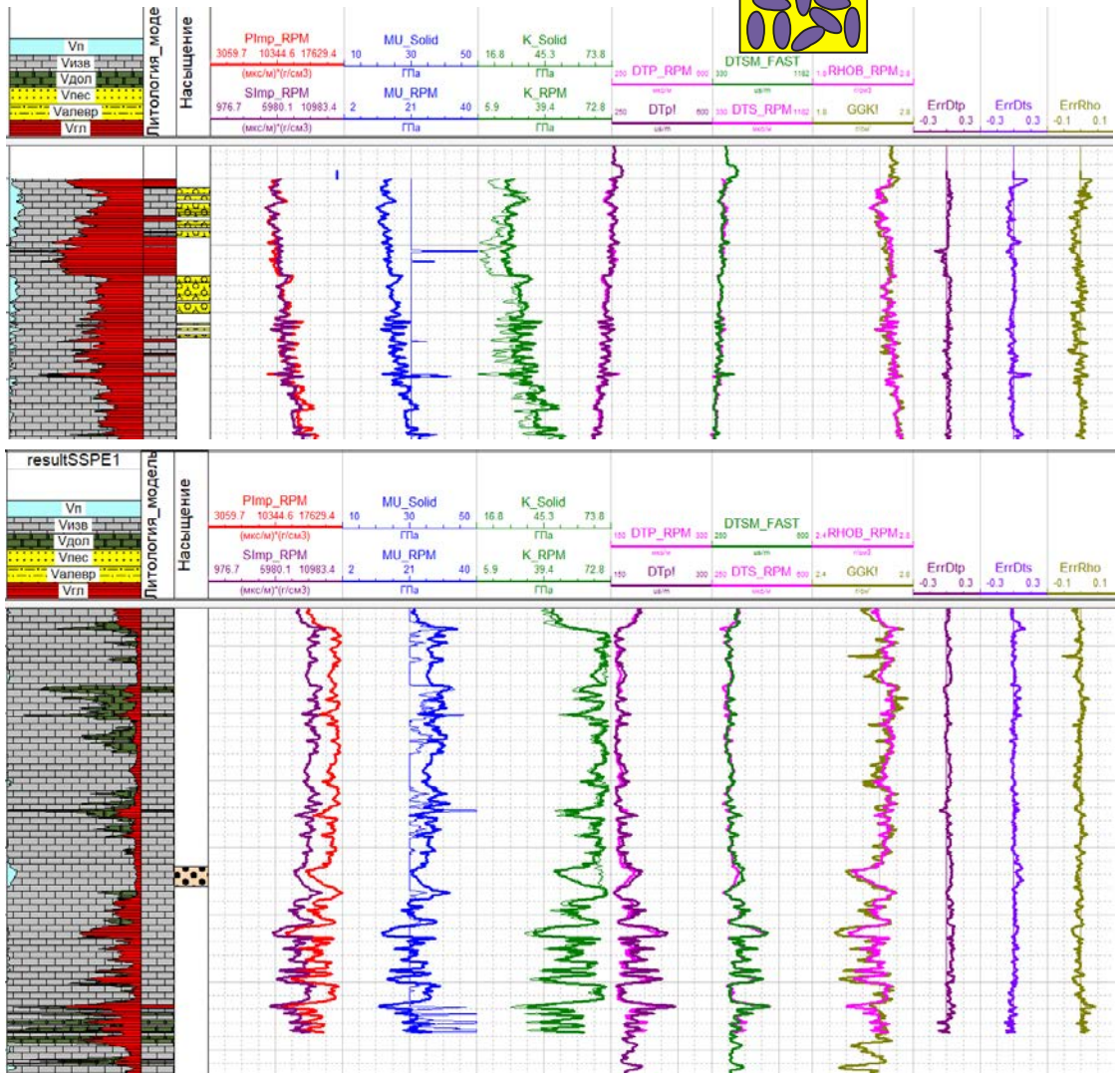
Ось X - исходные, Ось y - рассчитанные (ПУМ)

Расчет выполнялся по теории Герца-Миндлина.
Среда принималась изотропной, представляла собой упакованные определенным образом одинаковые сферы, соприкасающиеся с друг другом, находящиеся под определенным давлением и обладающие некоторой пористостью, жесткость скелета – низкая, тип флюида – газ, дополнительно задавалось эффективное давление, критическая пористость и координационное число.

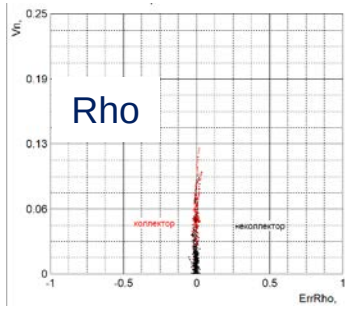
Результат ПУМ в карбонатной части разреза

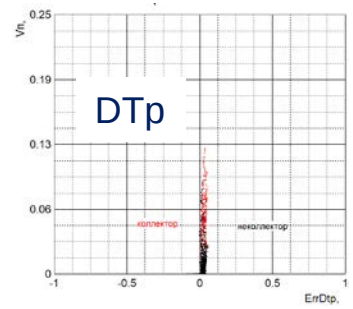
➢ Модель включений

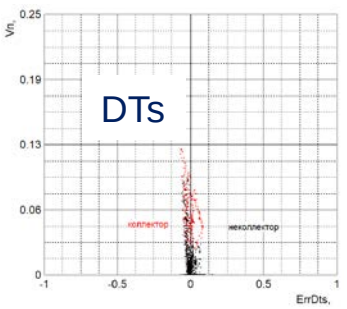




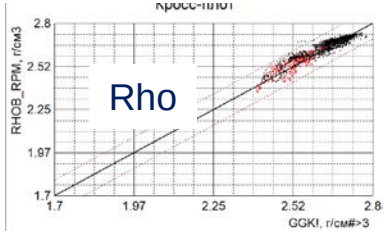
➢ Погрешности

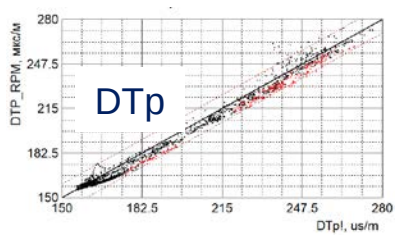


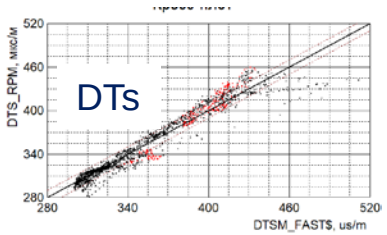




➢ Сопоставление





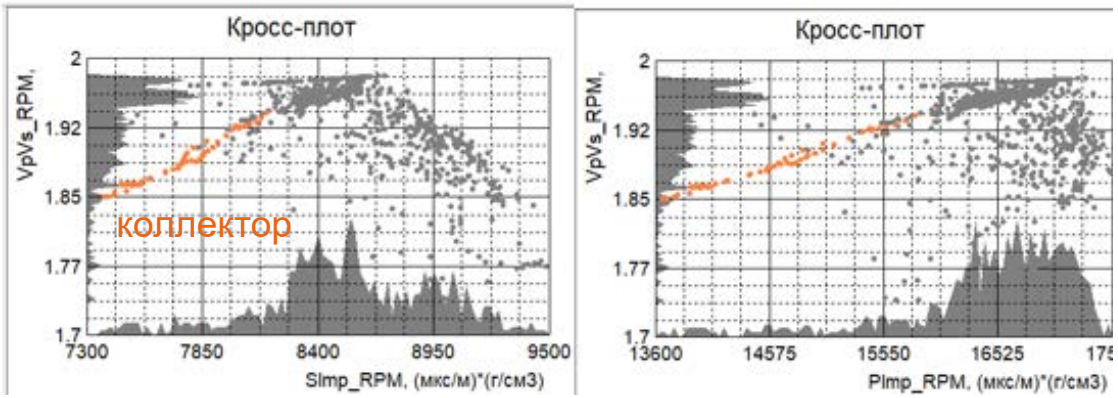


Ось X-исходные, Ось y - рассчитанные (ПУМ)

Расчет выполнялся по теории Xu-Payne для моделирования карбонатных пород со сложной структурой порового пространства, включая трещины и каверны. В первом интервале тип флюида – газ, во втором - нефть

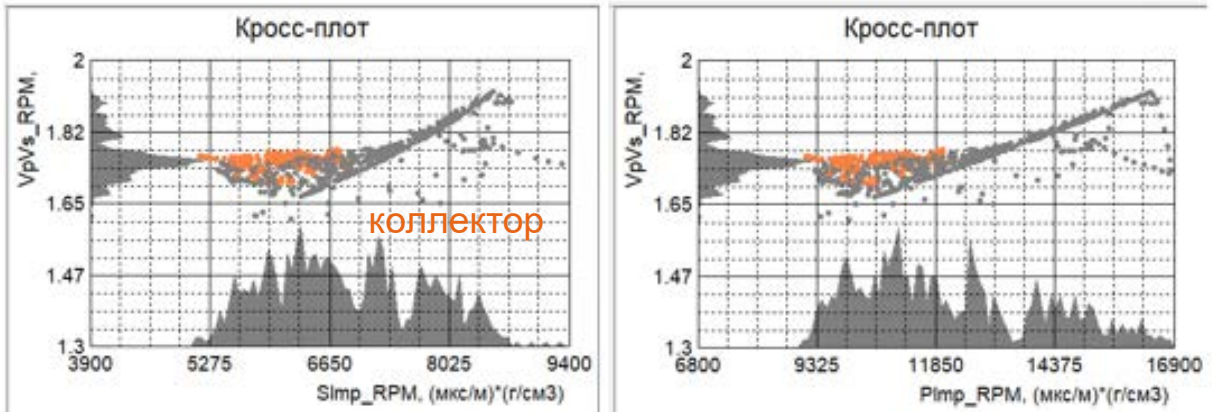
Прогноз емкостных свойств

- Карбонатный разрез, нижняя часть, флюид – нефть



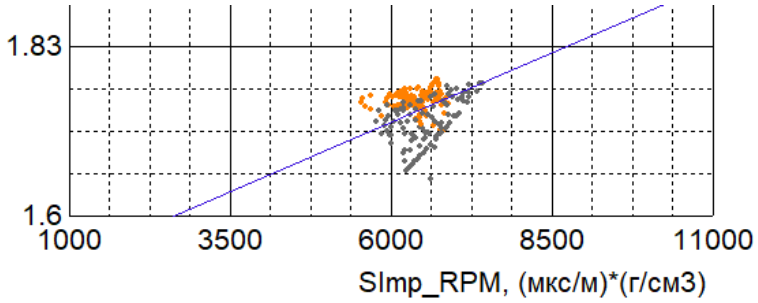
Удовлетворительный

- Карбонатный разрез, верхняя часть, флюид – газ

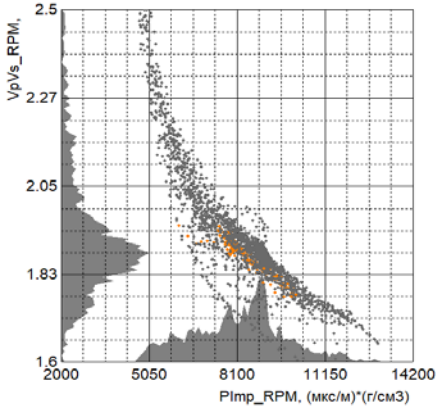


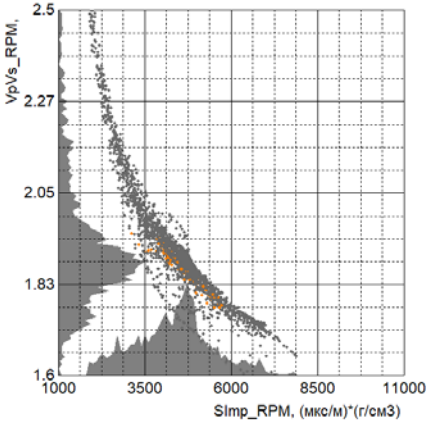
Неудовлетворительный

- Терригенный разрез, флюид – газ



Удовлетворительный по отдельным пластам





Что выполнено:

- Оценено качество всех исходных данных и исключена противоречивая и недостоверная информация;
- Скорректированы некачественные и/или восстановлены отсутствующие кривые полностью или частично в отдельных интервалах;
- Построена минералогическая модель и рассчитаны объемные доли минералов;
- Рассчитаны упругие свойства среды – модули сжатия и сдвига, акустические и сдвиговые импедансы и оценена погрешность расчетов по данным ПУМ;
- Дана оценка возможности прогноза емкостных свойств.

Основные выводы:



- Достоверность расчета упругих свойств объектов будет во многом определяться подготовкой исходных данных и правильно заданной моделью эффективных сред;
- Система ПРАЙМ имеет достаточную теоретическую и техническую базу для решения подобных задач.

Все актуальные новости на нашем телеграмм канале

@PRIME_GEOTEC

Спасибо за внимание!

телефон: +7 (347) 225 911 0
e-mail: support@geotec.ru