



ЗАО «МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
ИМЕНИ В.А.ДВУРЕЧЕНСКОГО»
(ЗАО «МиМГО»)

Применение машинного обучения на основе теоремы Байеса для интерпретации вероятности появления коллектора в кислых вулканитах Западной Сибири

*Руденко В.Ю., Гуренцов Д.Е., Гаврилов С.С.
ЗАО «МиМГО»

Проблематика/объект исследования

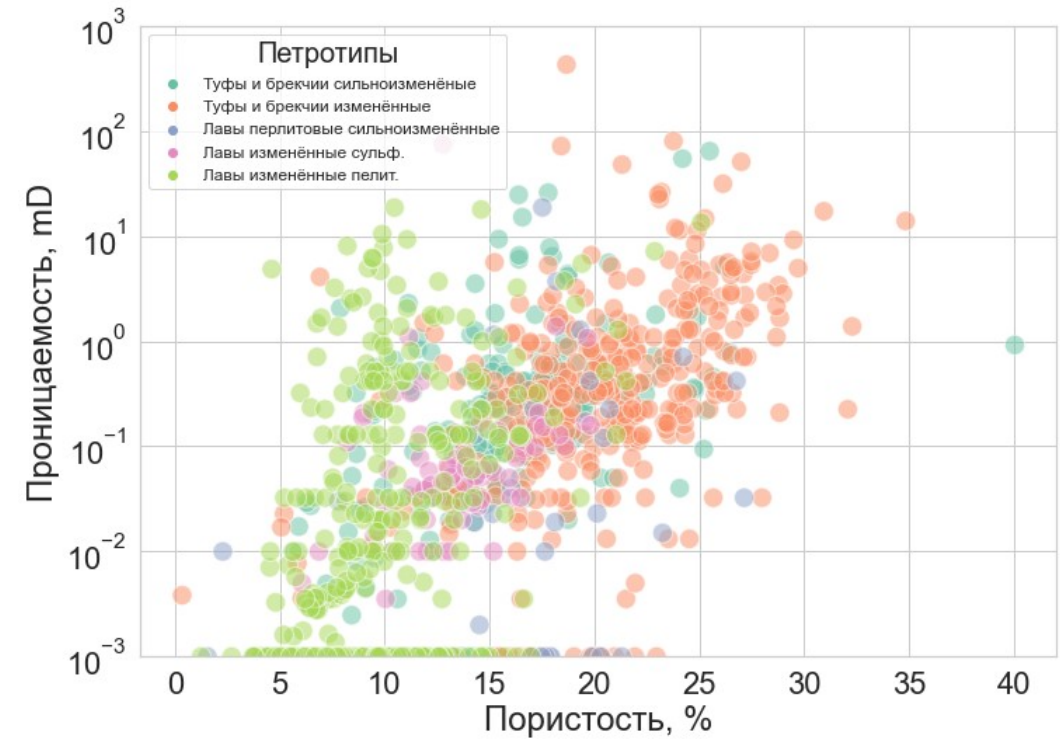
Объект исследования - кислые вулканы Западной Сибири и определение их коллекторского потенциала.

Условия формирования определяют:

- Высокую неоднородность,
- Невысокую в среднем проницаемость пор,
- Множественные вторичные изменения,
- Закрытые поры и каверны,
- Трещины разной направленности, генезиса и масштаба

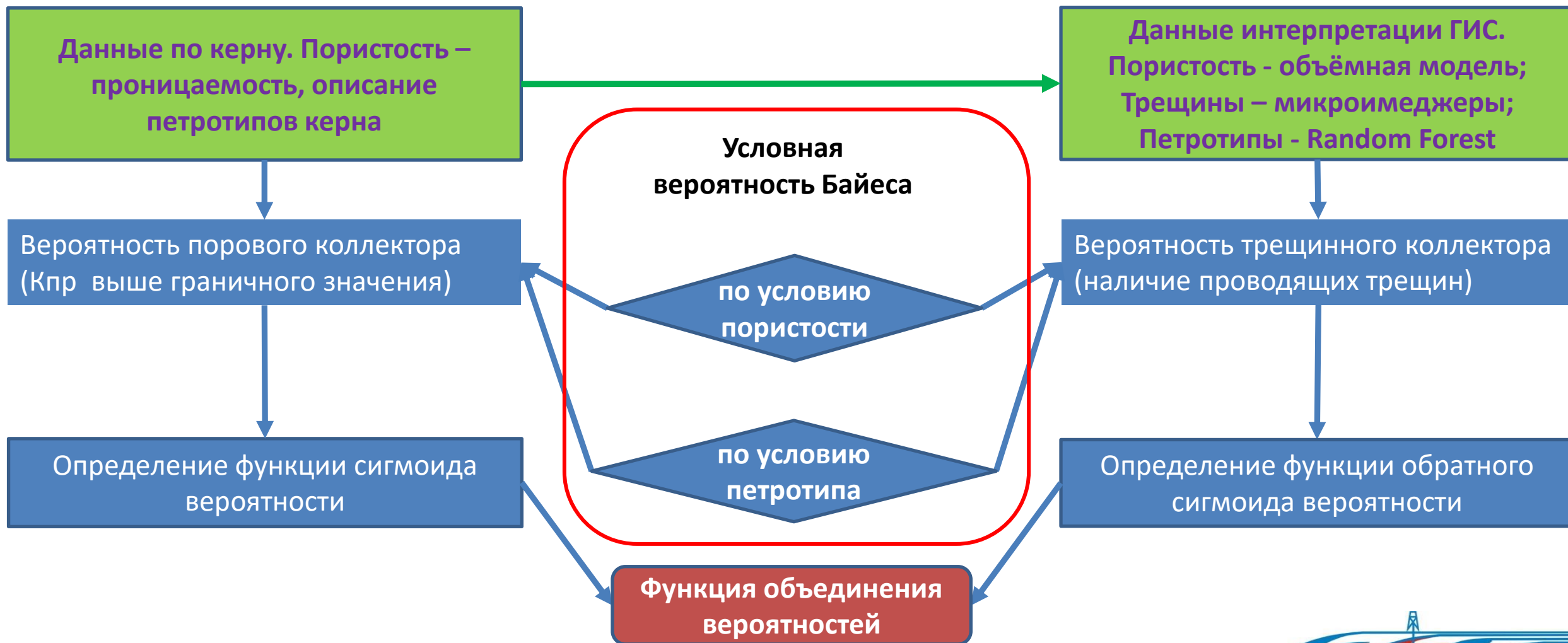
Всё это приводит:

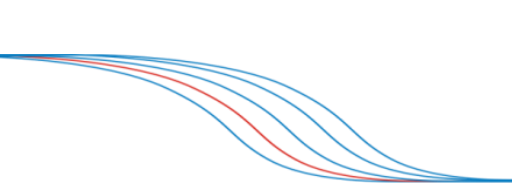
- ✓ неоднозначность выделения эффективных толщин
- ✓ отсутствие явной связи между дебитами и параметрами ФЕС (пористостью)
- ✓ отсутствие однозначно безприточных интервалов по результатам комплексного анализа испытаний и профилей притока.



Однозначная дифференциация коллекторов и неколлекторов по общепринятым алгоритмам невозможна.

Граф обработки





Теоретические основы метода

Условная вероятность Байеса. Теорема Байеса — одна из основных теорем элементарной теории вероятностей, которая позволяет определить вероятность события при условии, что произошло другое статистически взаимосвязанное с ним событие. Другими словами, по формуле Байеса можно более точно пересчитать вероятность, взяв в расчёт как ранее известную информацию, так и данные новых наблюдений.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)},$$

$P(A)$ – априорная вероятность гипотезы A ; (вероятность коллектора)

$P(A|B)$ – вероятность гипотезы A при наступлении события B (апостериорная вероятность);
(вероятность коллектора при различных пористостях)

$P(B|A)$ – вероятность наступления события B при истинности гипотезы A ; (вероятность появления заданного значения пористости в коллекторе)

$P(B)$ – полная вероятность наступления события B . (вероятность каждого из значений пористости)



Теоретические основы метода.

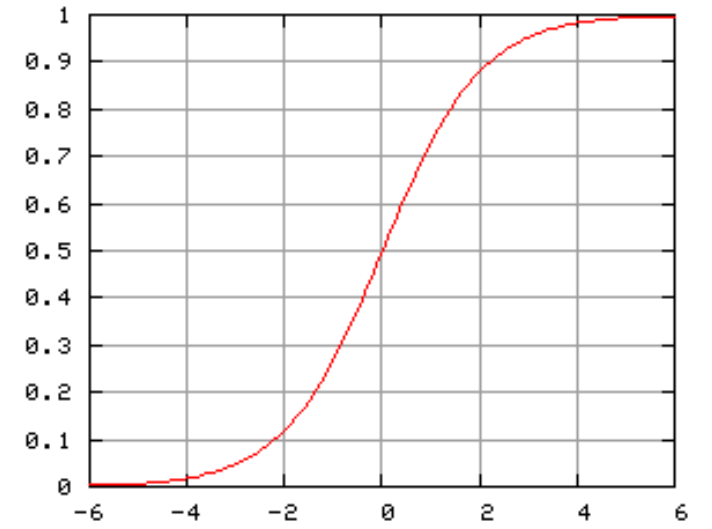
Вероятность с помощью функции сигмоиды

Сигмоида — это гладкая монотонная возрастающая нелинейная функция, имеющая форму буквы «S».

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}.$$

- Ограничена от нуля до одного. Это позволяет просто нормировать любые входящие в неё параметры, а также просто понимать, в каких пределах будет лежать её значение.
- Монотонна. Это значит, что она всегда возрастает. Т.е. любое "более правое" значение функции всегда больше того, что находится слева. Это существенно упрощает любой анализ.
- Слева от нуля она вогнутая, а справа - выпуклая. Т.е. характер роста функции может быть любым. И, что самое главное, понятно где он какое значение принимает.
- При этом при больших значениях аргумента и слева, и справа угол наклона практически нулевой и радиус выпуклости\вогнутости практически бесконечный. Т.е. для больших значений аргумента мы имеем фактически постоянное значение функции.

С помощью линейной комбинации сигмоид можно бесконечно приблизиться фактически к любой наперёд заданной функции на конкретном интервале.



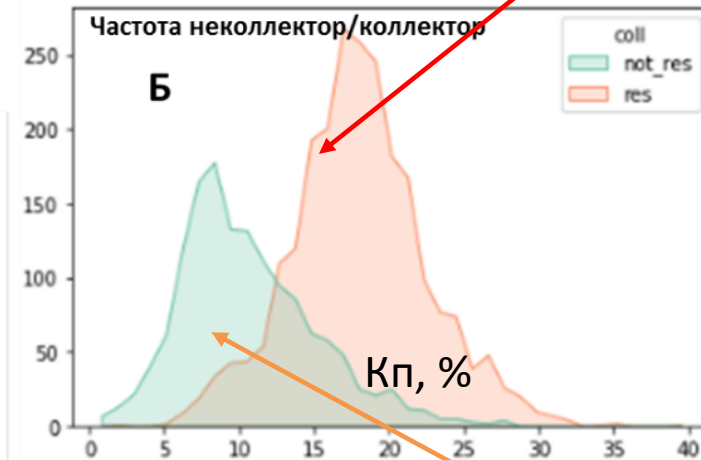
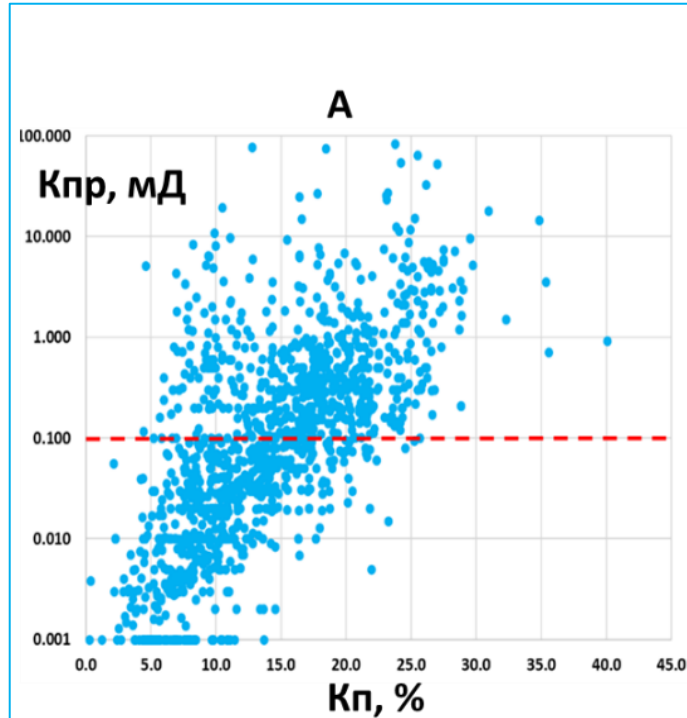
Логистическая кривая (сигмоида)



Вероятность порового типа коллектора при различной пористости



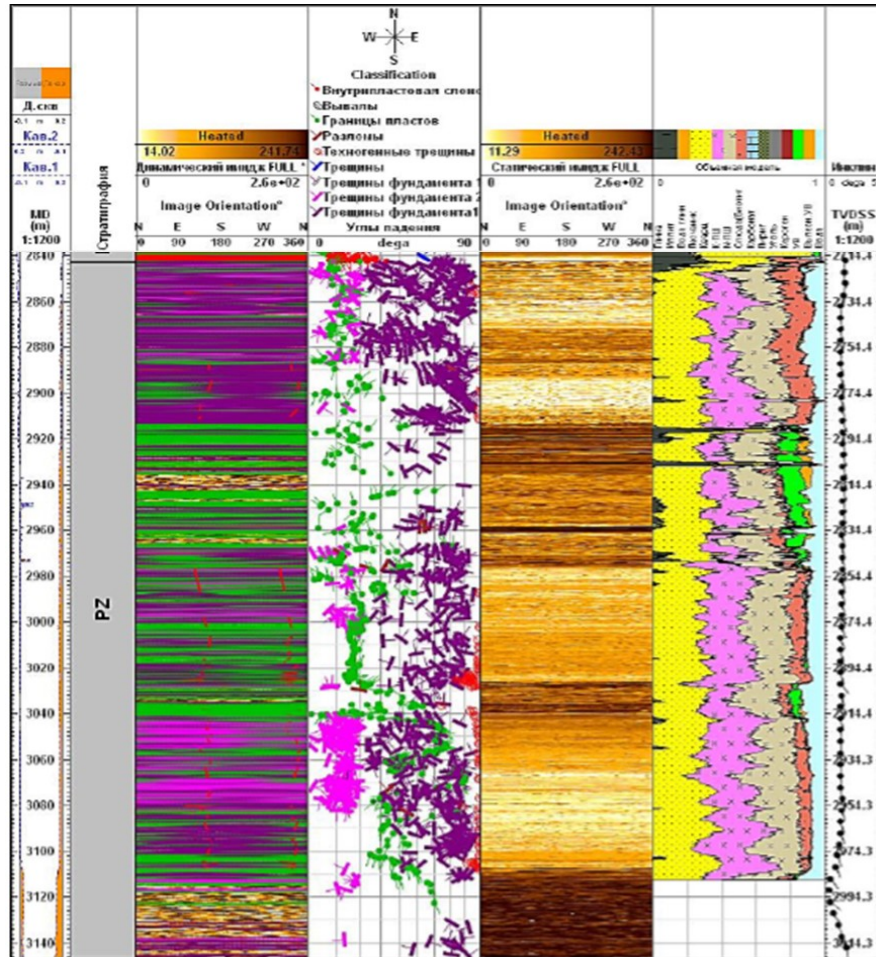
Трещины такого либо большего размера не попадают в статистику по образцам. Трещины меньшего размера часто залечены



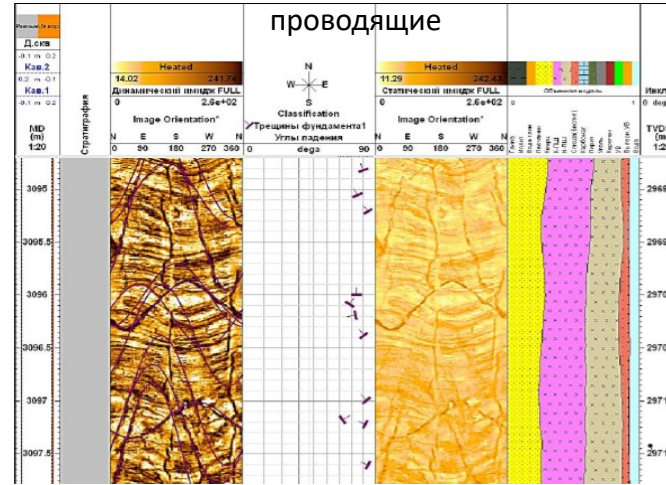
Распределение K_p с проницаемостью более 0,1 мД

Распределение K_p с проницаемостью менее 0,1 мД

Вероятность проводящих трещин, при различной пористости



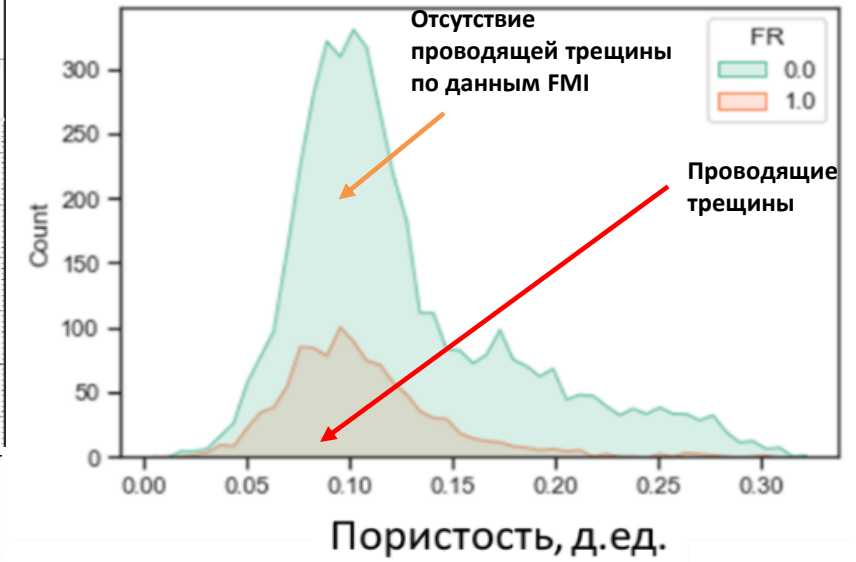
Трещины с углом падения > 20 градусов, проводящие



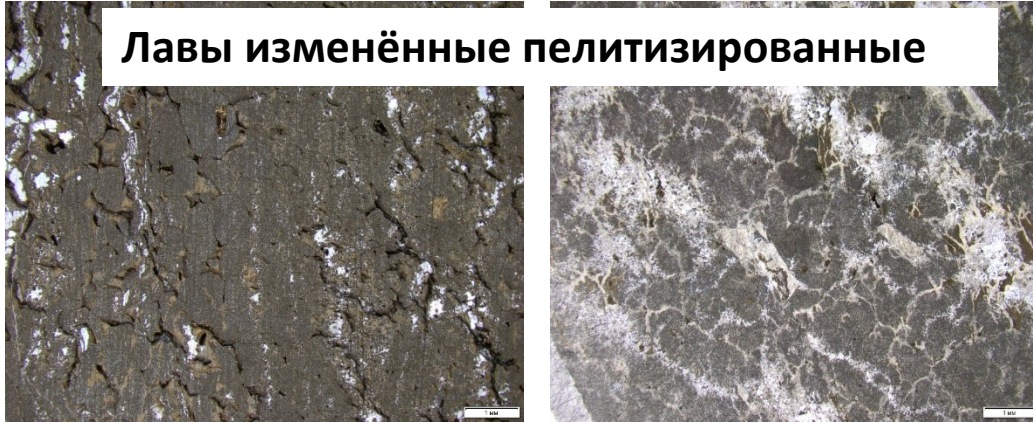
Трещины с углом падения < 20 градусов, отсутствием видимой раскрытости



Трещины FMI



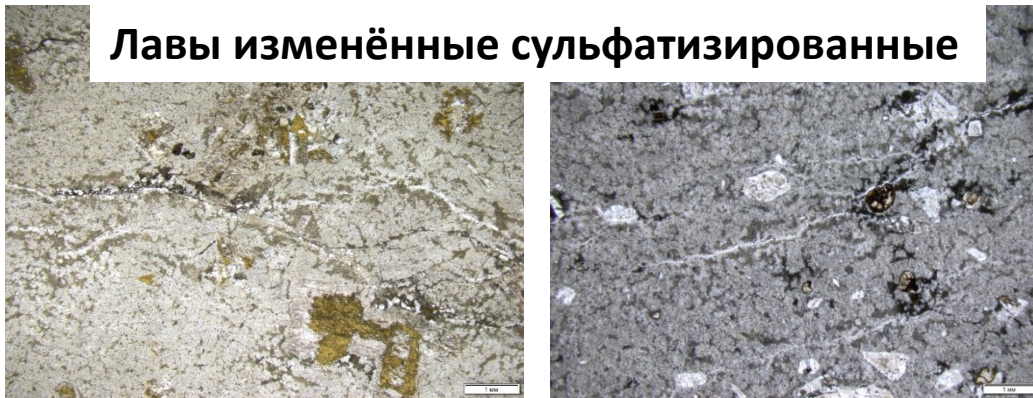
По результатам комплексного анализа керна и ГИС были выделены 6 петротипов. Петротипы эффузивов



Лавы изменённые пелитизированные

Афировый
флюидалый дацит

Метасоматизированные
порфировые дациты

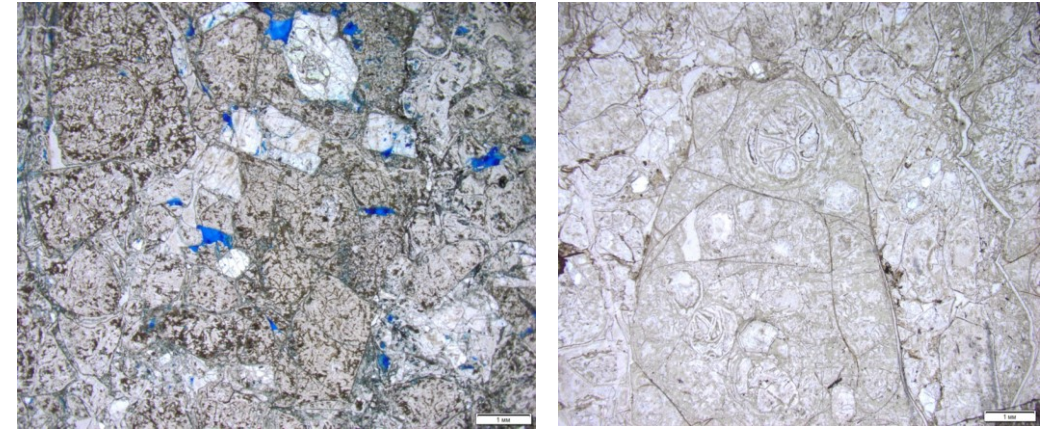


Лавы изменённые сульфатизированные

Порфировый дацит

Порфировый
слабофлюидалый дацит

Лавы перлитовые сильноизменённые

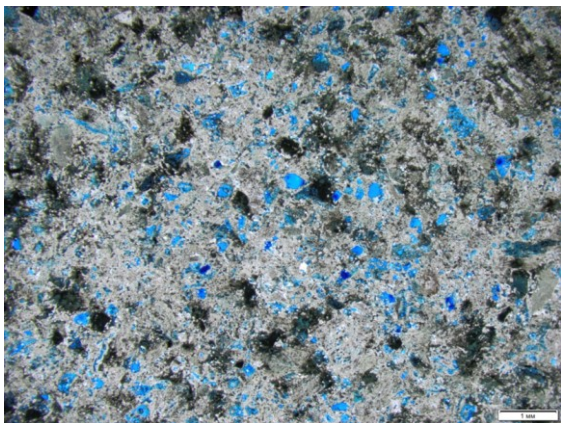


Порфировые перлитовые
дациты с вкрапленниками
полевых шпатов

Перлитовые дациты с
окварцованной основной
массой и карбонатными
жилами



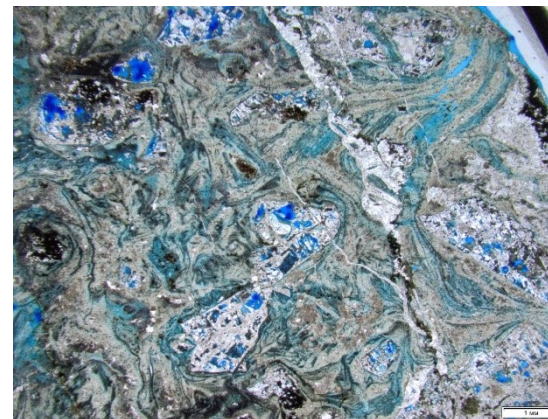
Петротипы кластолав и туфов



Кварцевый конгломерат

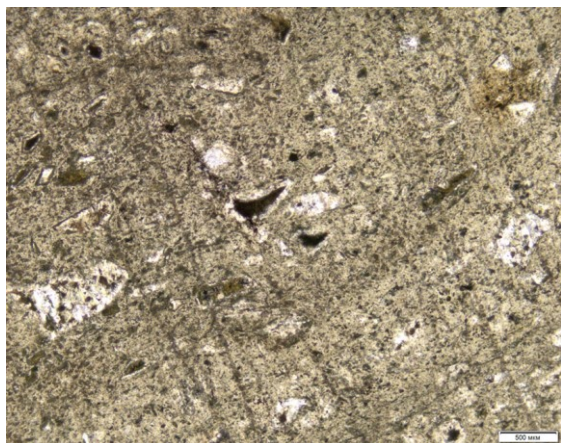


Лапиллиево-пепловые кристалло-дитовитрокластические риолитовые туфы

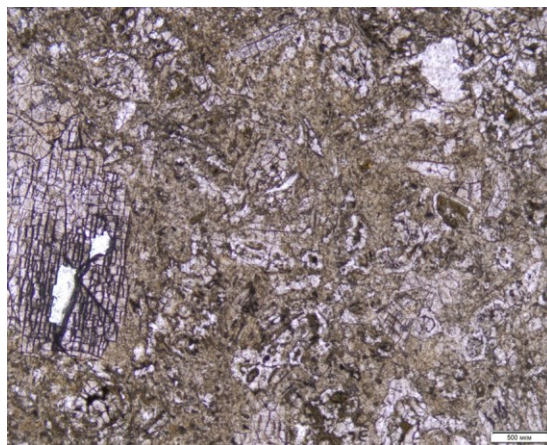


Пеплово-лапиллиевые дитокристалло-витрокластические дацитовые

Туфы и брекчии изменённые



Измененные витрокласты в риодацитовых туфах



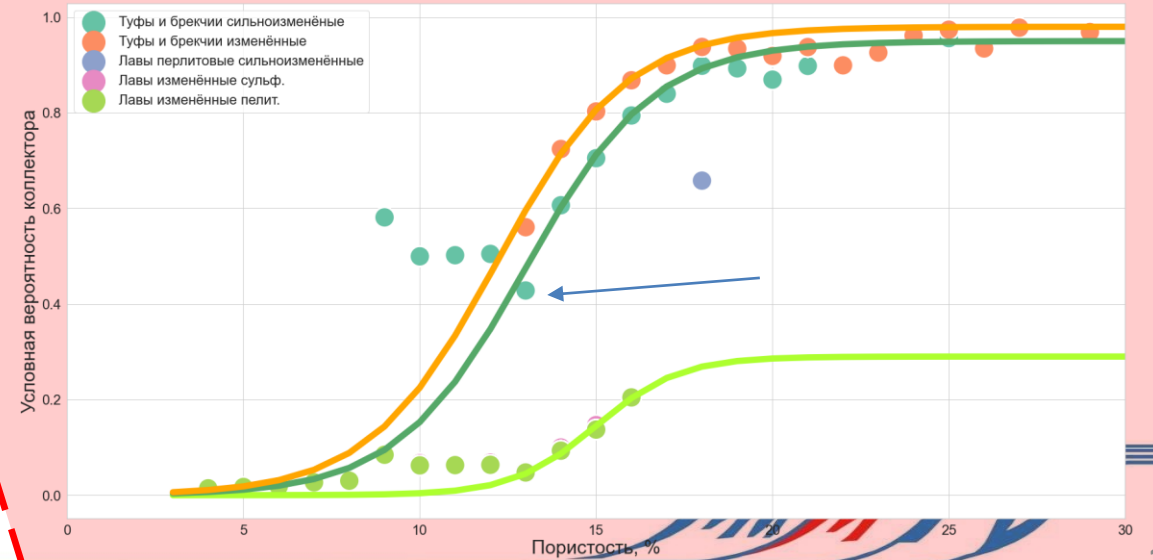
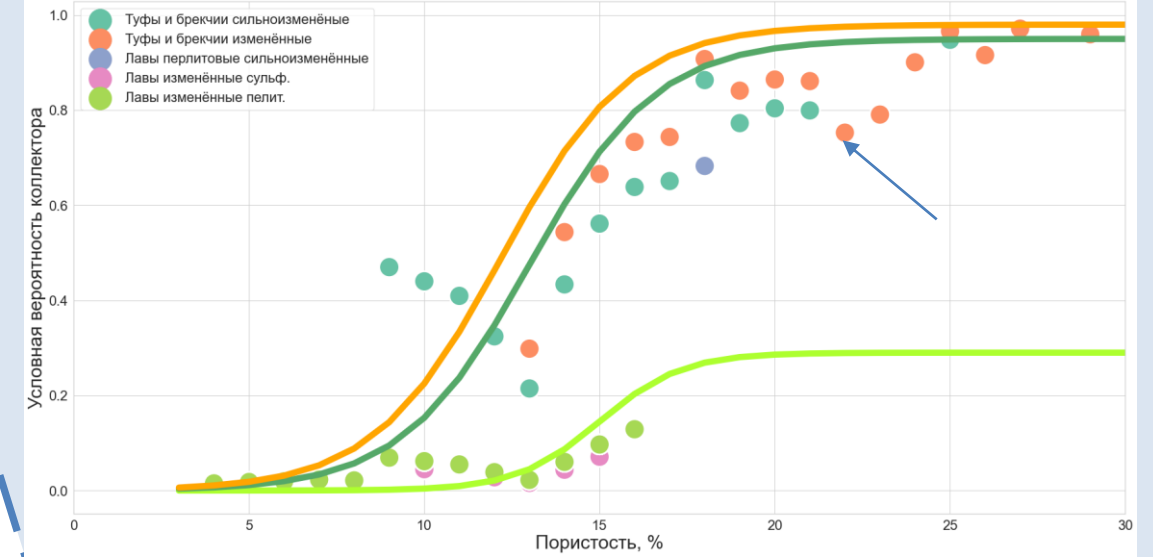
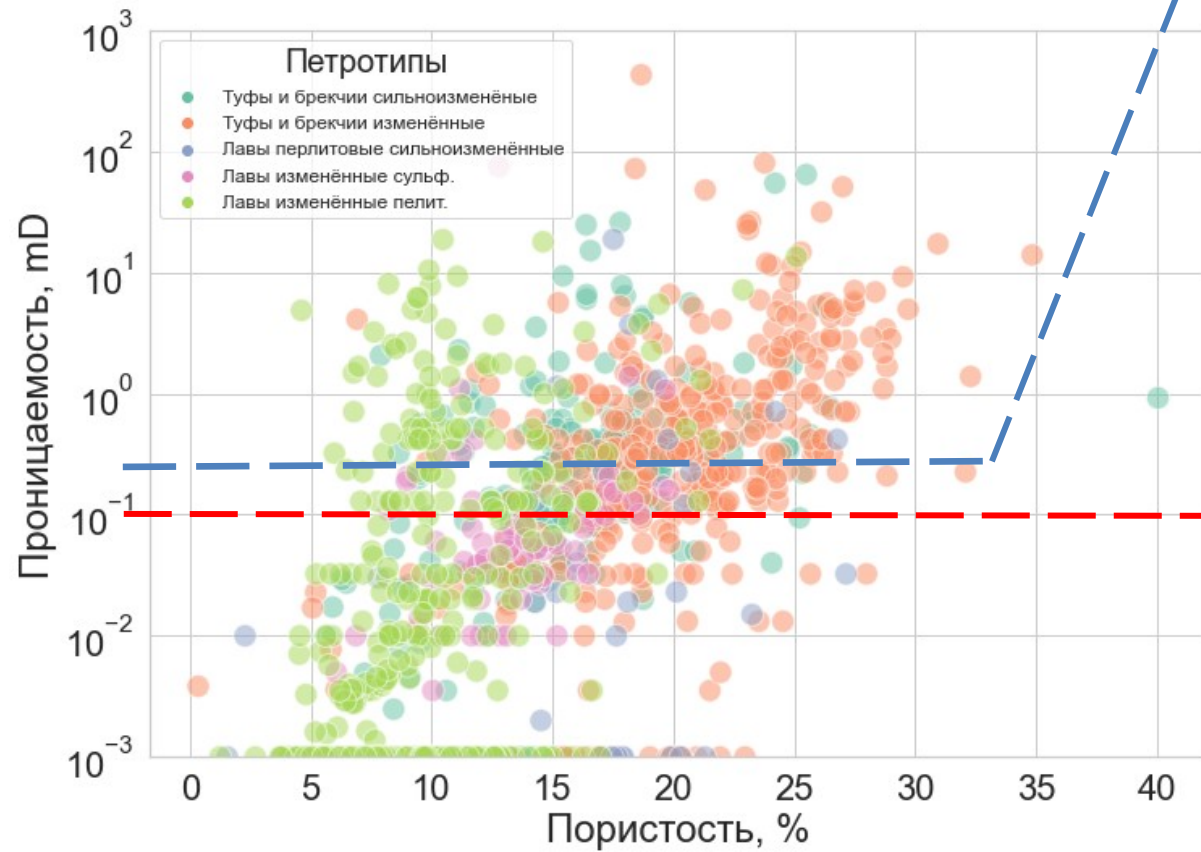
Кристаллолитокластическая андезидацитовая брекчия



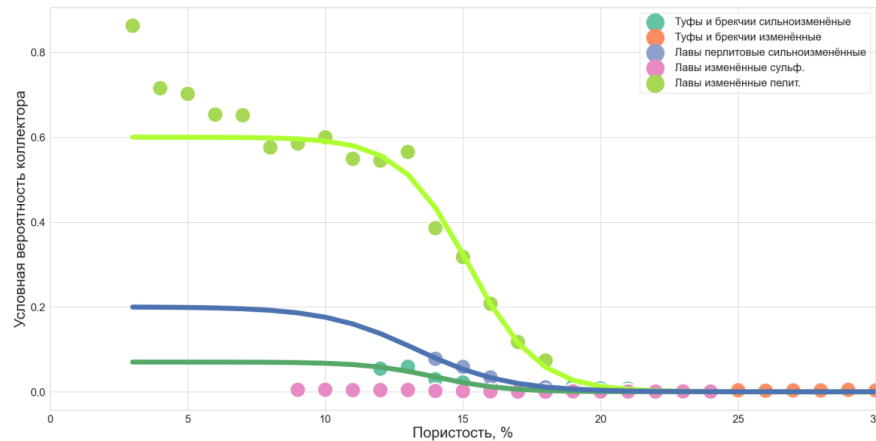
Лапиллиево-пепловый порфирокластовый кристаллокластический дацитовый туф

Туфы и брекчии сильноизменённые

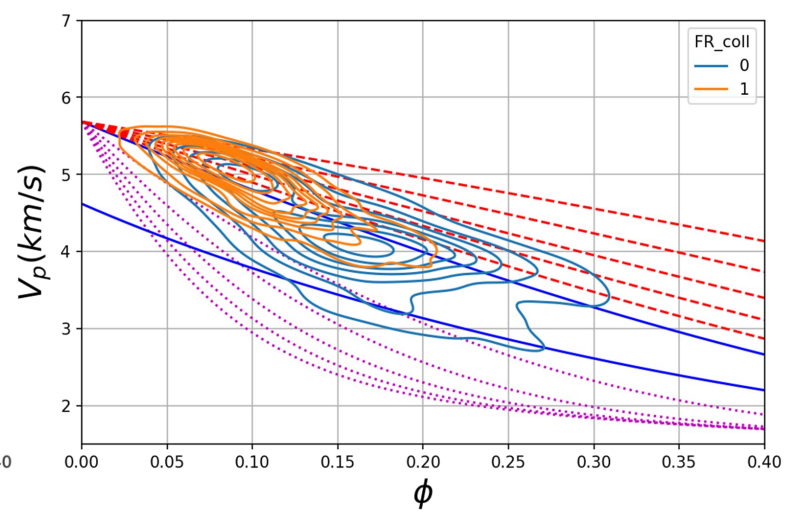
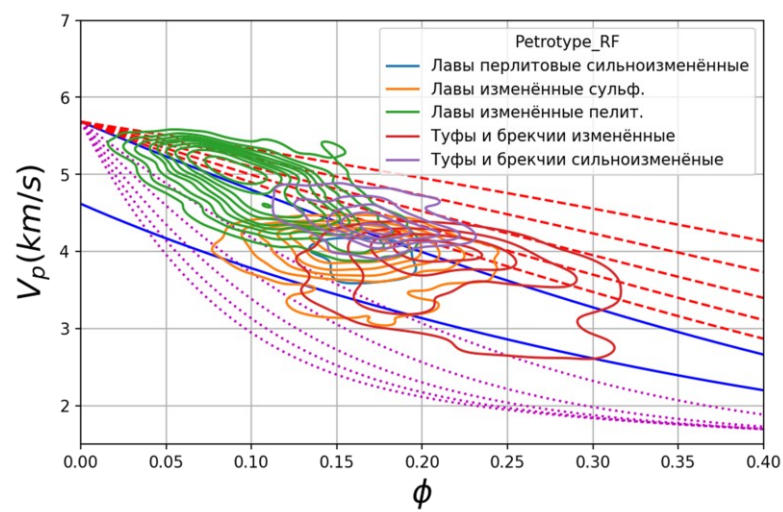
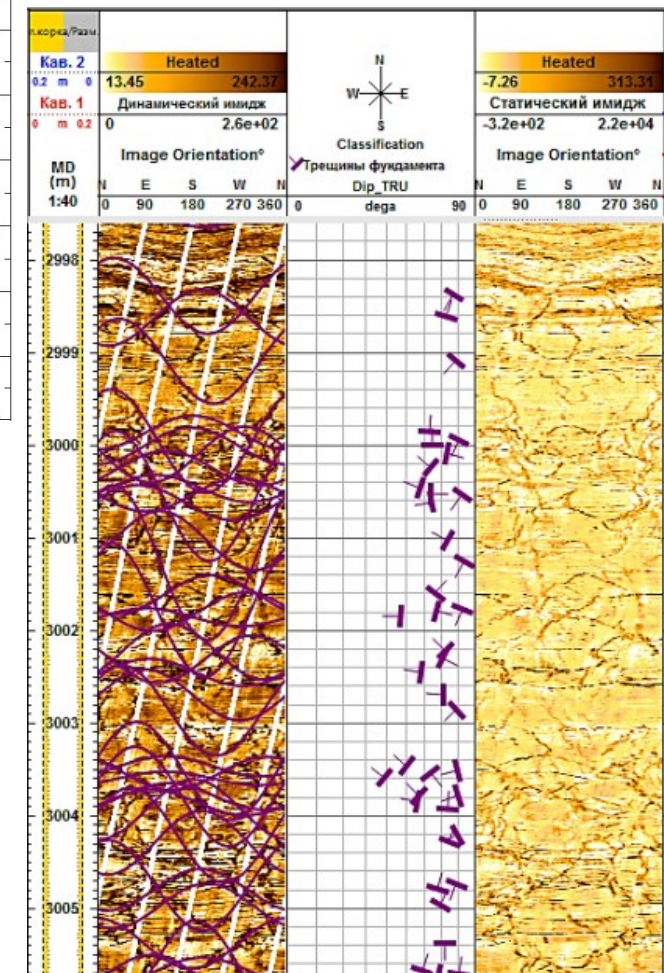
Анализ данных измерений ФЕС керна



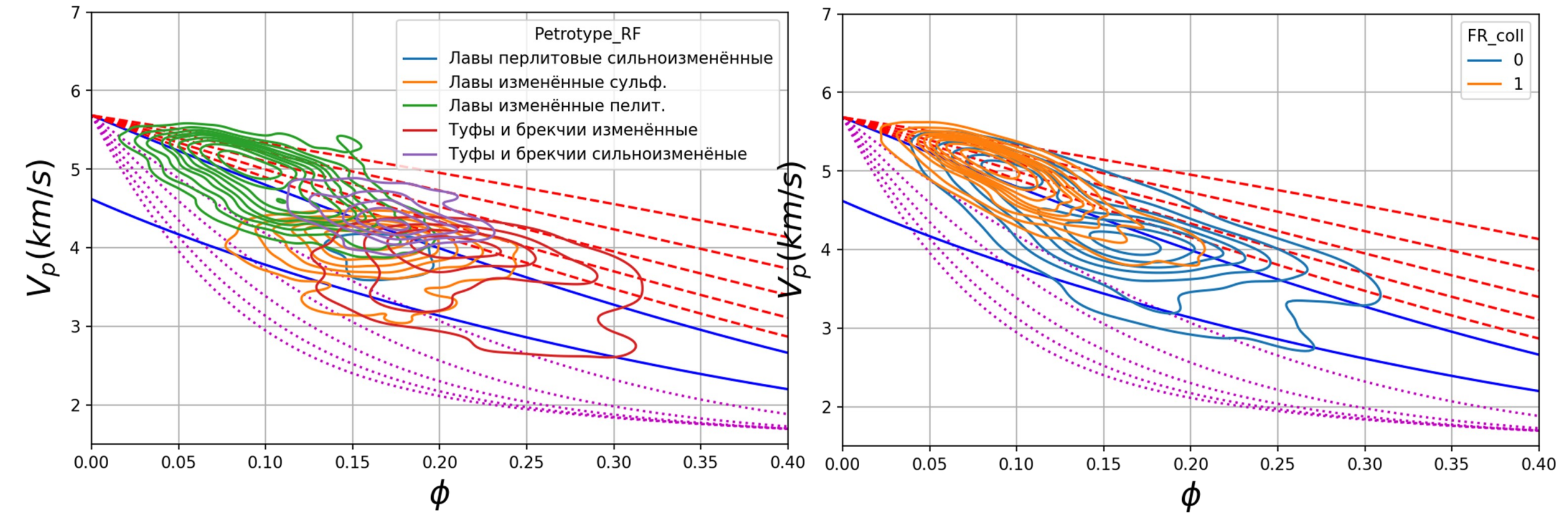
Анализ данных FMI



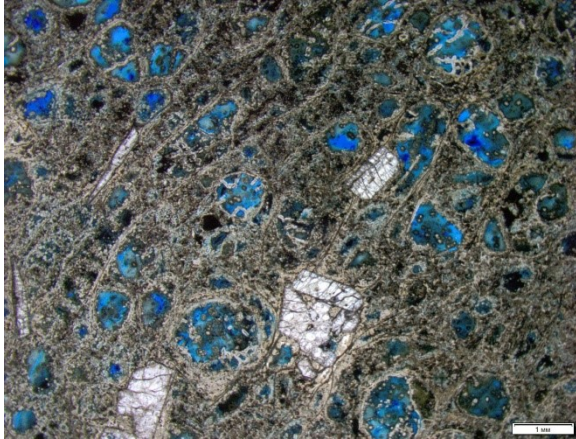
Афировый флюидальный дацит



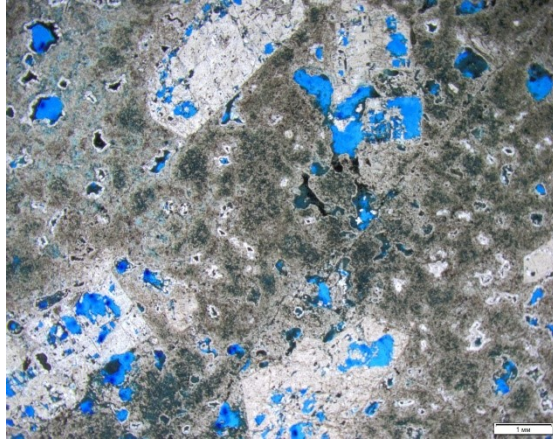
Модель Xu-Rayne



Структуры эффузивов



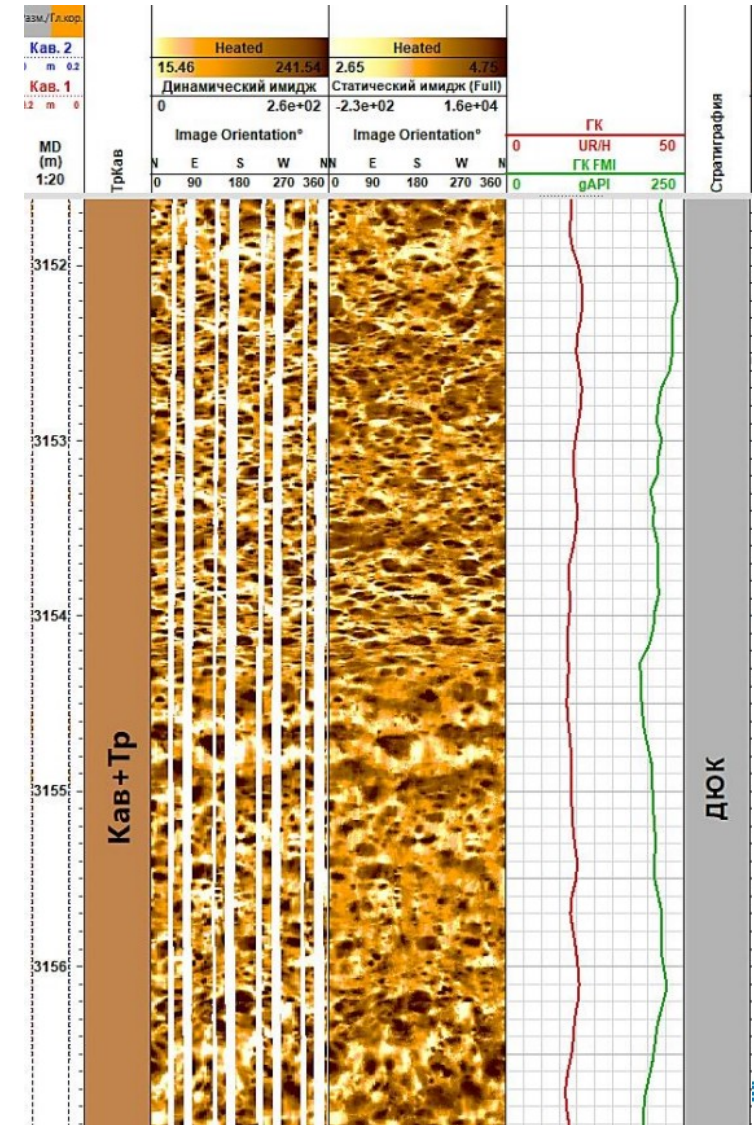
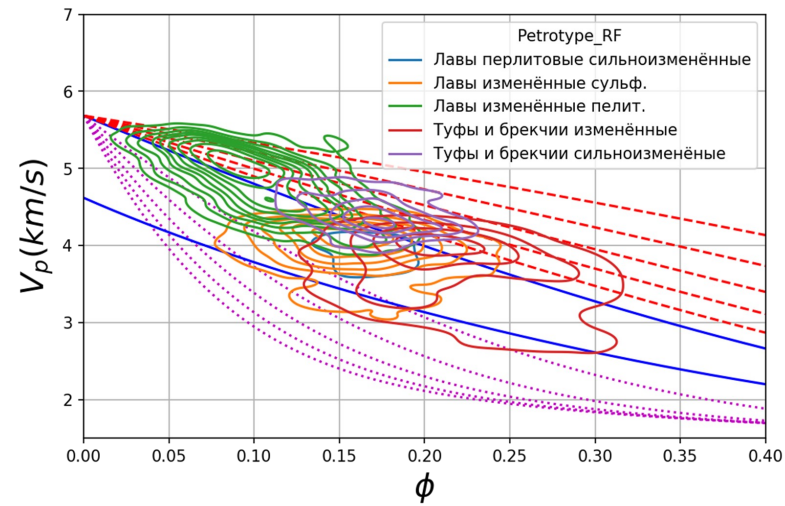
Порфировые перлитовые дациты с вкрапленниками полевых шпатов и пустотами, приуроченными к перлитам



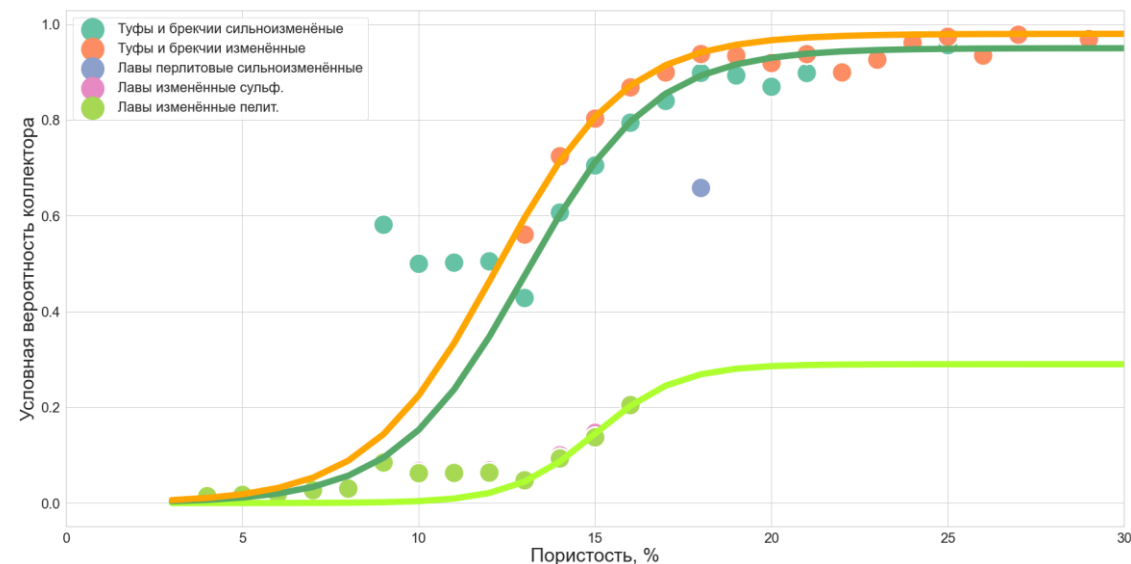
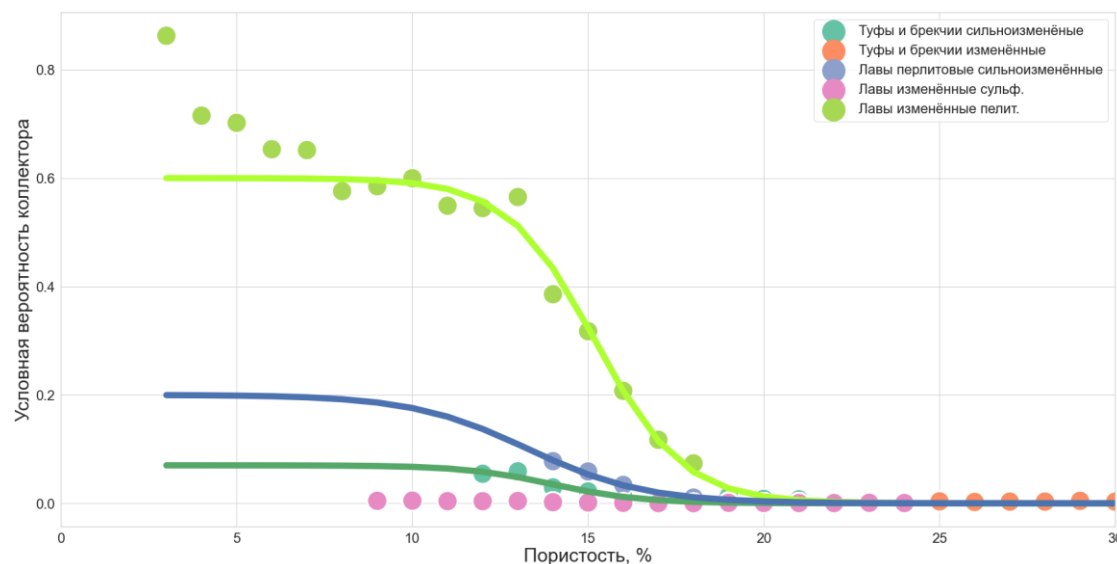
Миндалекаменный дацит.



Афировый флюидальный дацит

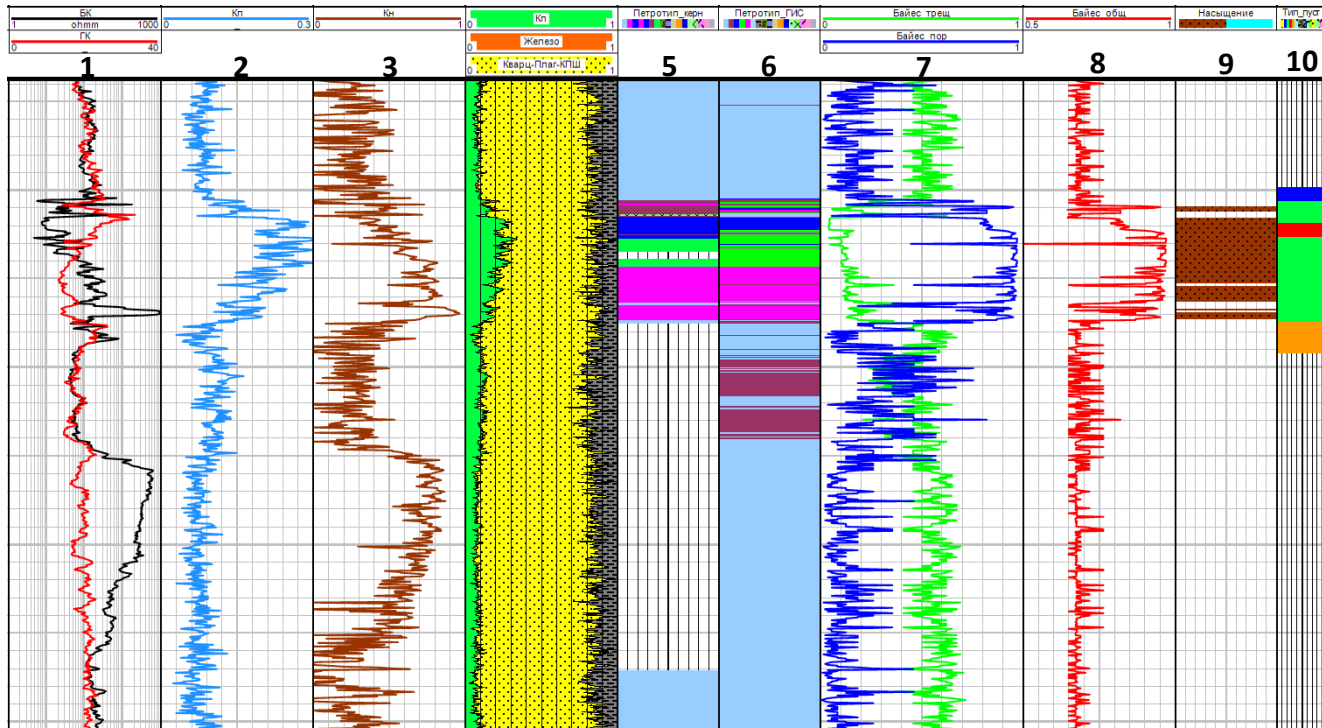


Условная вероятность по типу пород. Определение функции сигмоид. Типы коллекторов



Название петротипа	Границы пористости	Тип коллектора	Номер
Туфы и брекчии сильноизменённые	$12\% < K_p < 22\%$	Каверново – поровый	Тип 3 Б
	$K_p > 21\%$	Порово – каверновый	Тип 4 Б
	$K_p \leq 13\%$	Каверново – трещинный	Тип 2 Б
Туфы и брекчии изменённые	$12\% < K_p < 22\%$	Каверново – поровый	Тип 3 А
	> 21	Порово – каверновый	Тип 4 А
Лавы изменённые сульфатизированные, Лавы перлитовые сильноизменённые		Каверново -трещинный	Тип 2 В
Лавы изменённые пелитизированные	$K_p > 7\%$	Каверново – трещинный	Тип 2 А
	$K_p < 8\%$	Трещинно - каверновый	Тип 1

Граф определения интервала испытаний



1- кривые бокового и радиоактивного каротажа; 2 и 3 – кривые K_p и K_n , соответственно; 4 – объемная модель; 5 и 6 - петротипы по керну и ГИС, соответственно; 7 – вероятности трещинного (зеленая) и порового (синяя) коллектора по Байесу; 8 – общая вероятность коллектора; в 9 – характер насыщения порового коллектора; 10 – тип пустотного пространства (синий – каверново-трещинный, зеленый – каверново-поровый, красный – порово-каверновый, оранжевый – трещинно-каверновый)

1. Рассчитаем ФЕС – объёмная модель, модель Арчи-Дахнова

2. Рассчитываем петротип – 'Random Forest'

3. Рассчитываем условную вероятность порового типа коллектора и вероятность проводящих трещин

4. Рассчитываем общую вероятность коллектора

5. Определяем мощность интервала испытания

6. Подбираем интервал, в котором сумма общей вероятности нефтяного коллектора будет максимальная.

Результаты

- На основе теоремы Байеса и функций сигмоидов рассчитана пропорция коллекторов, которая соответствует эффективной толщине коллектора для каждого интервала глубин в зависимости от петротипа и пористости.
- На примере кислых вулканитов Западной Сибири показано, каким образом можно оценивать эффективные толщины в случае отсутствия однозначных количественных и качественных критериев разделения пород на коллектор/неколлектор
- На основе интерпретации вероятности коллектора по разрезу предложен граф определения интервала испытаний



Выводы

- Условная вероятность позволяет органично объединять различные типы данных в единую систему
- Полученная методика на основе условной вероятности позволила оптимизировать подбор интервалов для испытаний скважин
- Полученные результаты интерпретации скважин на основе представленного графа были использованы для пересмотра потенциала рассмотренного месторождения
- Представленная методика может быть использована для пересмотра потенциала и оптимизации разработки месторождений кислых вулканитов
- Полученный алгоритм решения может быть применен к другим объектам со сложным литологическим строением коллектора для решения задач оптимальной разработки месторождения



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

