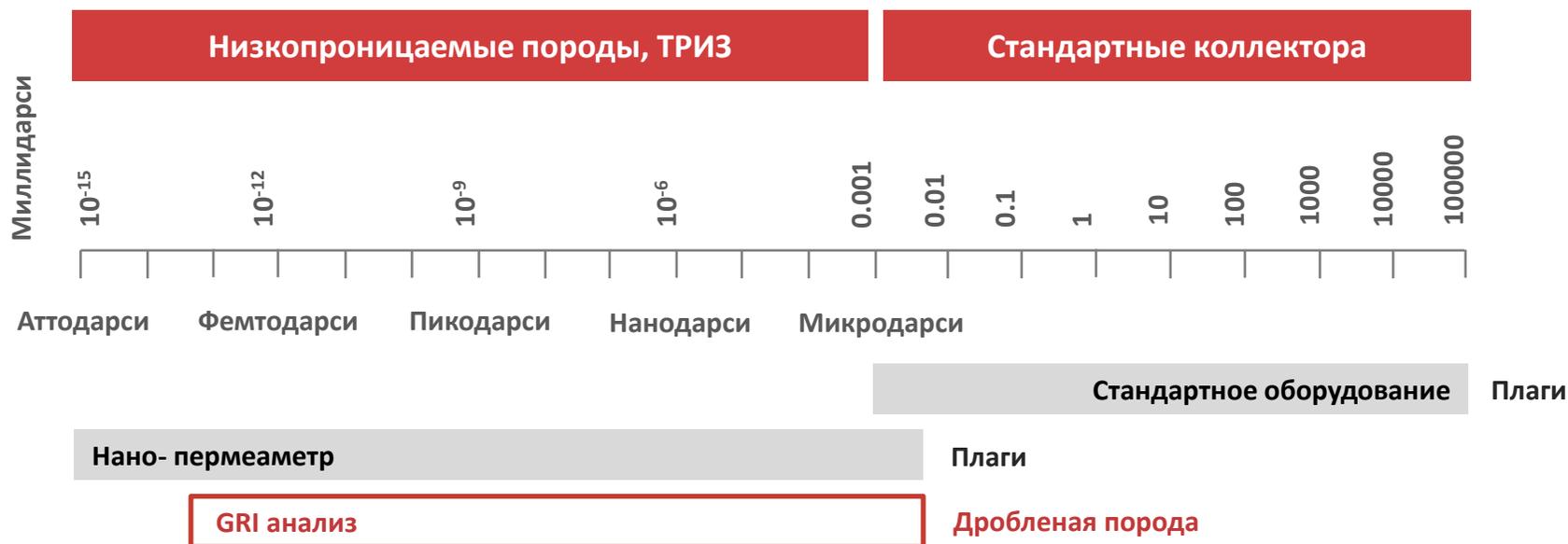


**ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОД  
МЕТОДАМИ GRI АНАЛИЗА И РТУТНОЙ ПОРОМЕТРИИ**

Подсчет запасов объектов основывается на петрофизических моделях, включающих базовые свойства, как значения коэффициентов пористости (Кп), проницаемости (Кпр), насыщенности по нефти, газу и воде, связанные с геологической характеристикой.

Как правило, для низкопроницаемых пород такие свойства определяются также, как и для стандартных коллекторов, напрямую на образцах, извлеченных из скважин.



## ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ИССЛЕДОВАНИЯМИ НА ПЛАГАХ

- ✓ **Неполная экстракция**, вызванная малой размерностью поровых каналов, которые способствуют затруднению проникновения растворителя в поровое пространство, снижают объем взаимодействия с экстрагируемым веществом.
- ✓ **Заниженные значения  $K_p$** , вызванные невозможностью агента полностью заполнить поровое пространство, что в свою очередь влияет на определение насыщенности по воде / нефти.
- ✓ **Индукцированная трещиноватость**, вызванная процессами отбора, обработки керна, изготовлении образцов, их очистки и сушки. Результаты замеров  $K_{pr}$  стандартными методами на цилиндрах породы при этом становятся непригодными.
- ✓ **Невозможность отбора образцов для исследований**. Как правило вызвана целостностью керна, наличием трещин.

## Изучение низкопроницаемых коллекторов

Примеры поверхности колонки керна с осложненным изготовлением образцов.

В случае успешного отбора плагов при экстрагировании наблюдается появление искусственных трещин.



Обозначенные особенности **учитываются при GRI анализе** в сопровождении адаптированного метода ртутной порометрии.

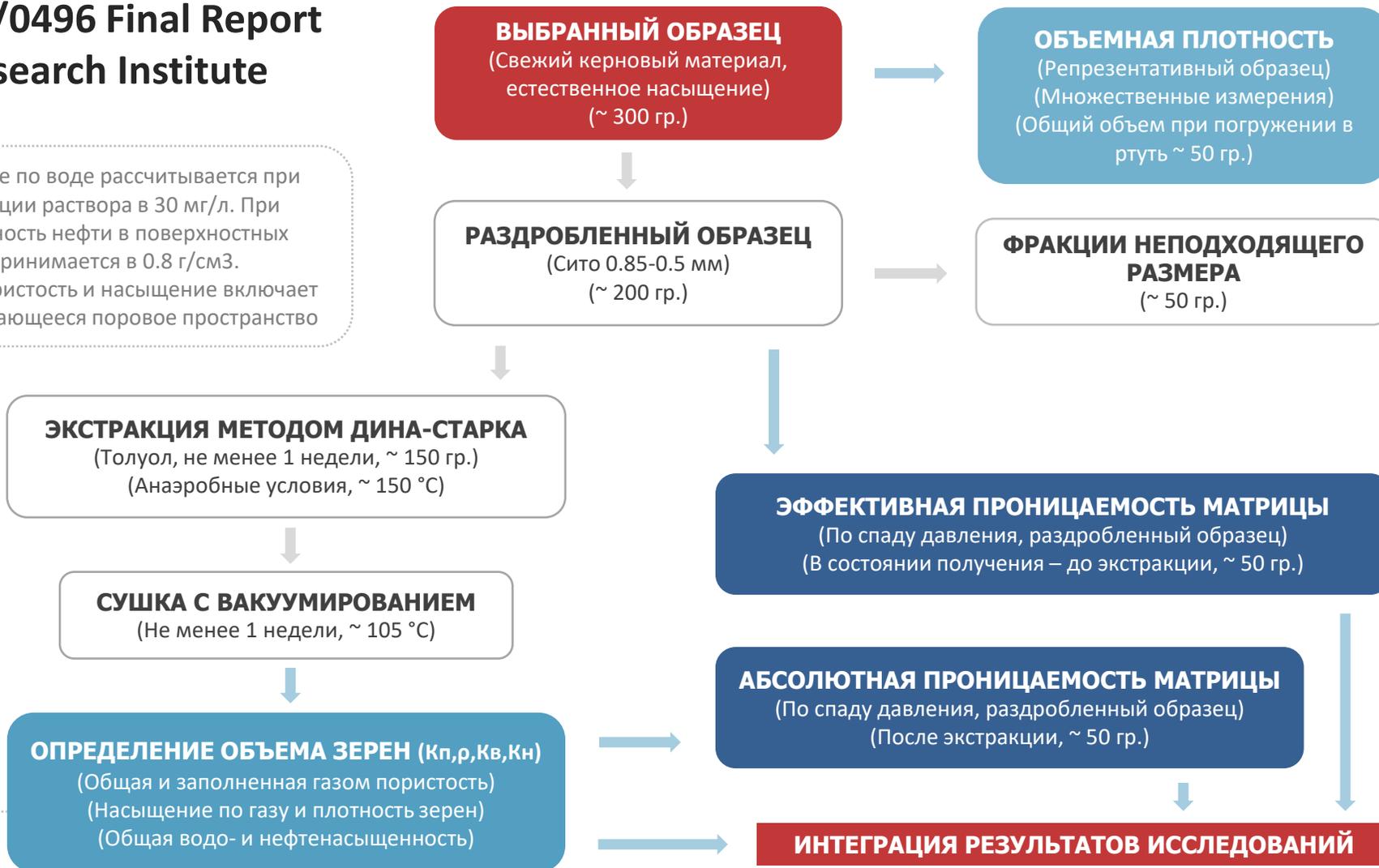
Метод GRI предполагает использование частиц пород вместо цилиндров керна сохраненного диаметра или плагов. Применим для низкопроницаемых пород, и не ограничен только сланцами. После дробления площадь взаимодействия растворителя с породой значительно увеличивается, что позволяет эффективнее внедряться растворителю в поровое пространство при экстракции, облегчает проникновение газа при замерах  $K_p$ ,  $K_{pr}$ . Измельчение породы позволяет минимизировать эффект искусственной трещиноватости.

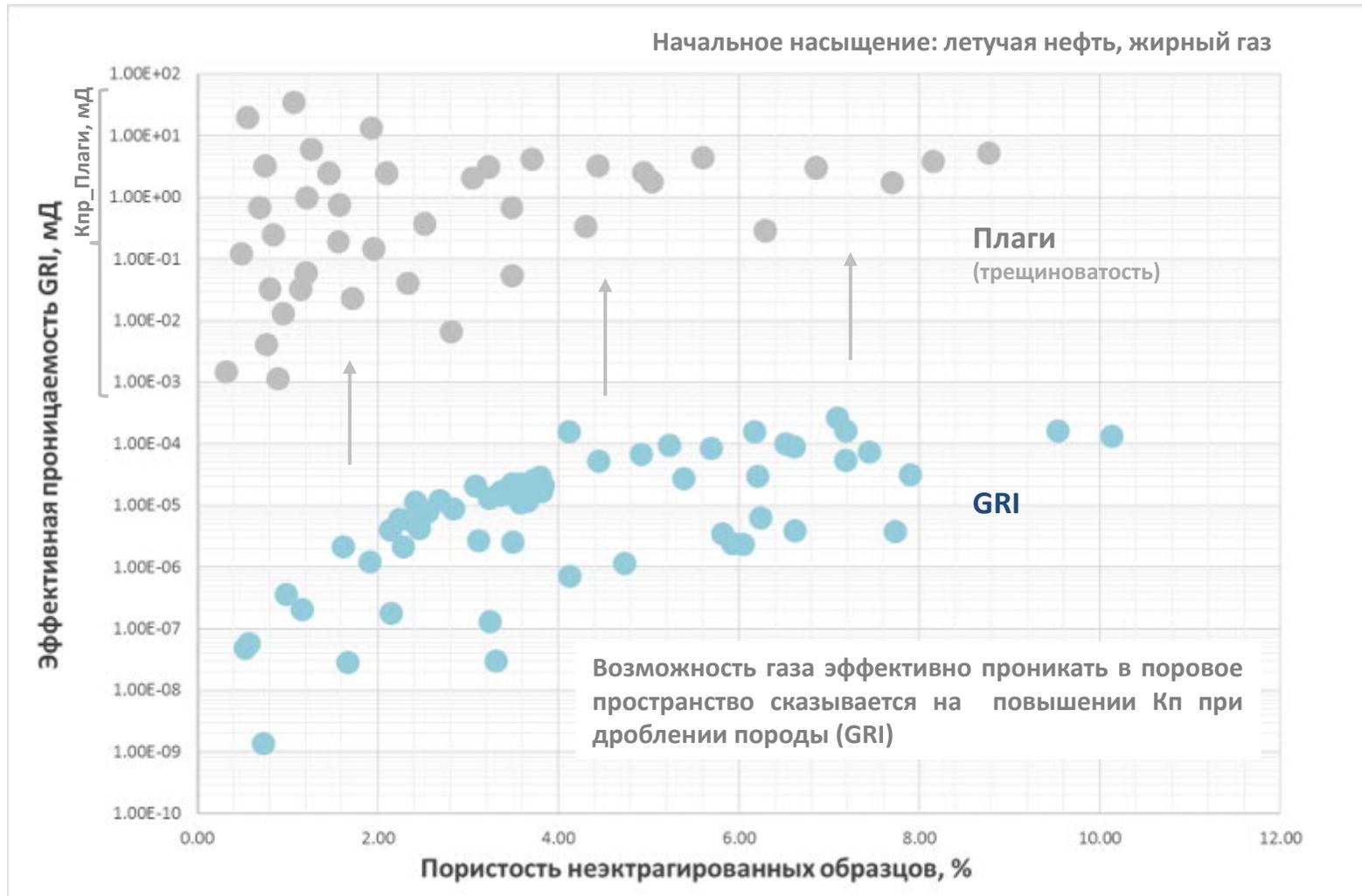
Метод GRI предполагает определение  **$K_{pr}$  матрицы породы** по изменению давления. Газ закачивается в поровое пространство. В качестве агента используется гелий. Значение  $K_{pr}$  оценивается по графику падения давления в ячейке от времени. Определяемое значение  $K_{pr}$  ограничено и не может быть более  $0.1 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$  (обычно до  $0.001 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ ).

**GRI анализ – единственно возможный путь измерения основных свойств в зонах, где невозможен отбор плагов**

## GRI-95/0496 Final Report Gas Research Institute

Насыщение по воде рассчитывается при концентрации раствора в 30 мг/л. При этом плотность нефти в поверхностных условиях принимается в 0.8 г/см<sup>3</sup>. Общая пористость и насыщение включает все сообщающееся поровое пространство





При стандартном методе исследований на плагах индуцированная трещиноватость приводит к завышению  $K_{пр}$ .



При экстракции удаляется связанная вода глин, а также происходит деградация чувствительных глин.

GRI анализ должен проводиться с оценкой наличия, количества керогена по шлифам и геохимическим методам изоляции.

Учет керогена важен для интерпретации данных ГИС, поскольку кероген распознается как подвижный УВ.

$$V_k = \left[ \frac{C_t - S_1 \times C_{S1}}{C_k} \right] \rho_b / \rho_k$$

Где:  $C_t$  - ТОС, д.е.

$S_1$ - свободная нефть в породе, д.е.

$C_{S1}$ - углерод в битуме, д.е.

$C_k$ - углерод в керогене, д.е.

$\rho_b$ - объемная плотность породы, г/см<sup>3</sup>.

$\rho_k$ - плотность керогена, г/см<sup>3</sup> (определяется при изоляции керогена)

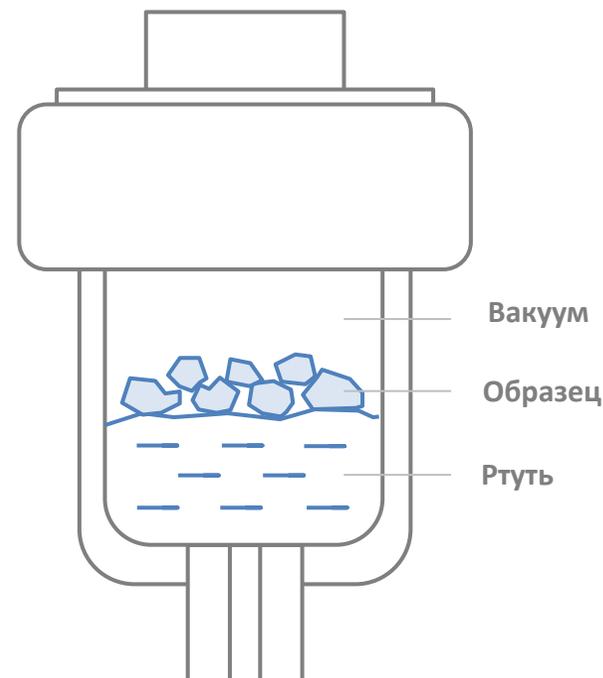
Основные минералы	Глины	Кероген	Связанная вода	Малые поры	Крупные поры
-------------------	-------	---------	----------------	------------	--------------

Также обязательно устанавливаются свойства трещин по шлифам и испытаниям скважин: генезис, ориентация, наклон, густота, взаимное пересечение.

Ртутная порометрия измельченных образцов используется для дополнения метода GRI.

Эксперимент предусматривает закачку ртути в очищенный и высушенный образец керна (25-50 гр.) при заданных значениях давления. Эксперимент может проводиться как на отдельном фрагменте породы, так и на раздробленном образце.

Объем закачки ртути при каждом значении давления определяет насыщенность несмачивающей фазой (ртути). Обеспечивает заполнение всего объема сообщающихся пор.



Кривые закачки системы воздух-ртуть в капилляры широко используются для характеристики вытеснения и являются инструментом для количественного определения размеров пор и их представленности в образце.

На уровне поровых каналов оценивается проницаемость матрицы.

Второй особенностью является **возможность типизации пород**, поскольку зачастую размерность преобладающих поровых каналов связана с условиями осадконакопления и вторичных преобразований.

По опыту работ для низкопроницаемых пород большое влияние на результирующие значения  $K_{пр}$  оказывают количество кислорода при осадконакоплении, соответствующее количество и активность организмов, сортировка частиц, наличие неподвижных УВ.

### АДАПТАЦИЯ

Заключается в введении поправки на примыкание для частиц пород, где значительно выражено отношение между площадями поверхности и внешним объемом.

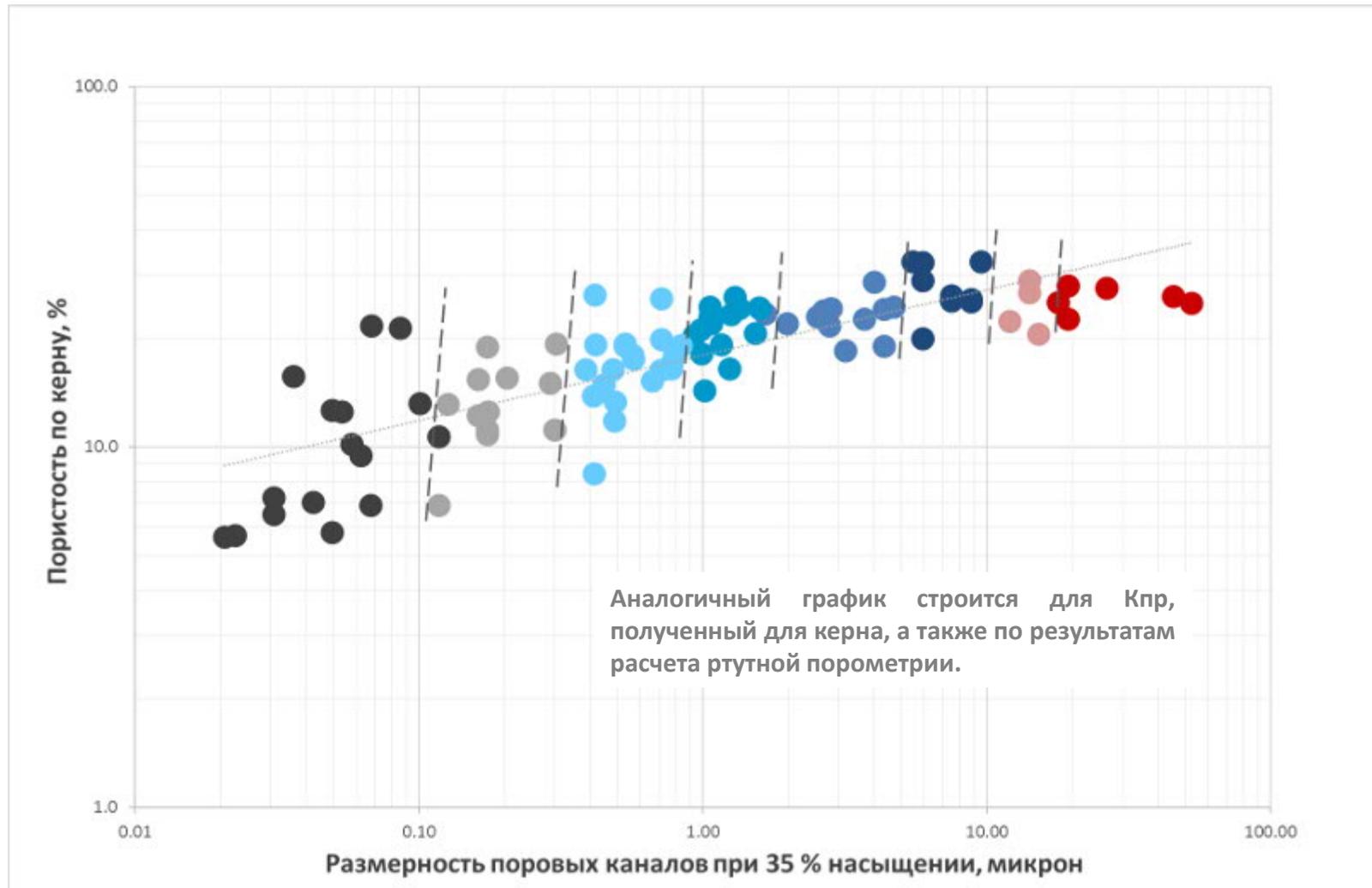
Также необходим учет поправок на сжатие, связанную воду глин, смачиваемость и межфазное натяжение.

Ртутная порометрия с особой осторожностью применяется для пород с чувствительными, реактивными глинами.

# Ртутная порометрия, корректировка

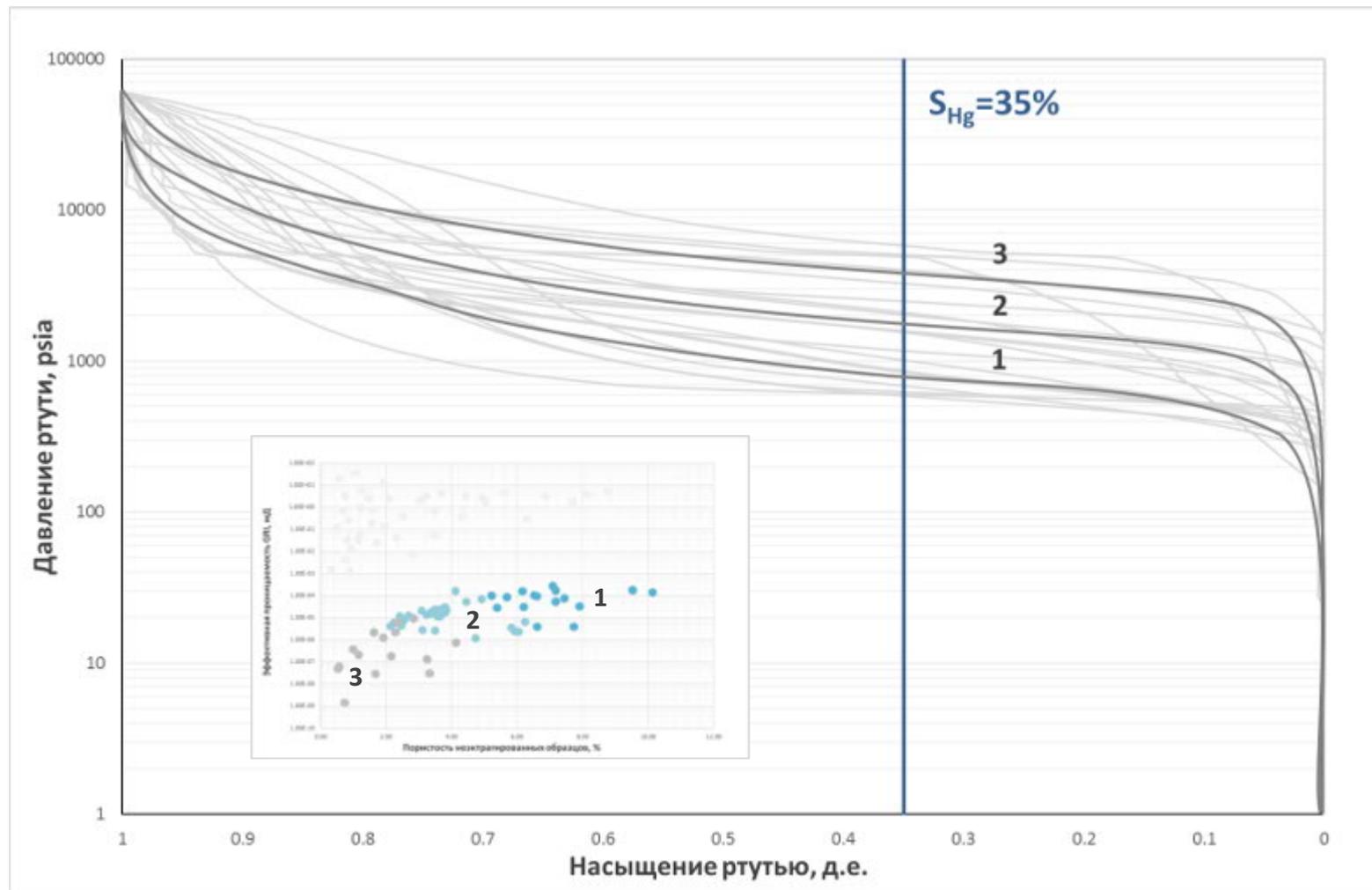


# Ртутная порометрия, проверка



Свойства, определенные на породе до МІСР должны соответствовать расчетным после введения всех поправок.

# Ртутная порометрия, типизация



Типизация пород проводится при 35% насыщении ртутью. Давление нагнетания соответствует определенной размерности поровых каналов, связанных с условиями осадконакопления. Выделенные типы сравниваются с результатами геологических исследований.

- ❖ GRI анализ **позволяет справиться с основными трудностями, возникающими при изучении плагов** (стандартных цилиндров) низкопроницаемых пород. Позволяет провести исследования в зонах, где отбор плагов из колонки невозможен. Метод дает возможность получить значения  $K_p$ ,  $K_{pr}$  матрицы, плотности и водо-нефтенасыщенности.
- ❖ Адаптированный метод ртутной порометрии позволяет эффективно сопровождать GRI исследования. Он позволяет провести проверку  $K_{pr}$  расчетным методом, выделить типы пород и закономерности изменения свойств на уровне поровых каналов. Необходимо введение поправок и дополнительная проверка.
- ❖ Применение обозначенных технологий показывает высокую технико-экономическую эффективность, **используется** в подавляющем большинстве случаев при всех исследованиях низкопроницаемых пород международными компаниями (Weatherford, Schlumberger, CoreLab и др.). Но оборудование не производится на территории России.
- ❖ В настоящее время мало распространены в отечественных центрах изучения керна, и **должны более активно применяться при изучении объектов**, запасы которых относятся к **категории трудноизвлекаемых**.



[Nikolay.Kostin@lukoil.com](mailto:Nikolay.Kostin@lukoil.com)



**Всегда в движении!**