

**В этом году отмечается 50-я
годовщина программы SPE
«Выдающиеся лекторы».
Чтобы больше узнать об этой
удивительной программе,
посетите наш сайт**

www.spe.org/go/DL50



Программа SPE «Выдающиеся лекторы»



Основное финансирование обеспечивает

**Фонд добровольных взносов членов SPE
и поступлений от выставки Offshore Europe**

Общество благодарит компании, дающие возможность
своим специалистам выступать с лекциями

Дополнительную поддержку оказывает AIME
(Американский институт инженеров-механиков)



Анализ керна: Руководство по извлечению максимума информации

Колин Макфи

Senergy (GB) Limited

Society of Petroleum Engineers
Distinguished Lecturer Program
www.spe.org/dl

В чем важность керна ...

Боб Харрисон, JPT Technology Focus, Август 2009

- Керн
 - «подтверждает литологический и минеральный состав
 - позволяет оценить основные свойства пород
 - показывает, как флюиды движутся и заполняют поровое пространство
 - Позволяет определить механические свойства для повышения проходки, безопасности бурения и эффективности заканчивания скважин»
- “Невозможно провести ГИС не зная свойств породы”
- “Показать руководству, что проект только выиграет от полученных данных”

В чем важность анализа керна – подсчетные параметры

$$OIP = GRV \cdot \frac{N}{G} \cdot \phi \cdot (1 - S_w) \cdot \frac{1}{B_0}$$

Геофизик

Геолог

Петрофизик

Разработчик

Начальные геологические запасы нефти

OIP

Общий объем породы

GRV

Коэффициент песчанистости

N/G

ГИС, ГДИС, КЕРН

Коэффициент пористости

ϕ

ГИС, КЕРН

Коэффициент водоносности

S_w

ГИС, КЕРН

Объемный коэффициент пластовой нефти

B_0

PVT

В чем важность анализа керна – Запасы

$$\text{ЗАПАСЫ} = OIP * RF$$

- КИН (RF) зависит от технических и экономических факторов
- Отчасти КИН определяется относительной проницаемостью пласта
- по КЕРНУ

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{k_{ro}}{k_{rw}} \cdot \frac{\mu_w}{\mu_o}}$$

Уравнение Уэлджа для определения доли фаз в многофазном потоке

Данные керна – какие преимущества они нам дают?

- Предварительные данные для оценки параметров пласта
 - “все остальные данные экстраполируются” (Weatherford)
- Но....
- **Лаборатория**
 - Различная степень качества лабораторных данных и чувствительность к особенностям выбранного метода
 - Низкие требования к лабораторным отчетам
- **Конечный пользователь**
 - Недостатки при планировании и проектировании
- Снижается значение результатов анализа керна

Данные керна – в чем их ценность?

- Анализ результатов почти 25,000 специальных исследований керна
- 70% старых данных непригодны для использования по назначению
- **Избыточность данных обошлась почти в 15 млн. долларов**
- Примеры параметров, рассчитанных в лабораторных условиях, не включенных в отчеты:
 - пористость, водонасыщенность, и капиллярное давление
- Влияние на запасы углеводородов

Пример – водонасыщенность по уравнению Арчи, S_w

УЭС пластовой воды

Коэффициент извилистости

$a=1$, если по керну не определено иначе

$$S_w = \left[\frac{a}{\phi^m} \frac{Rw}{Rt} \right]^{\frac{1}{n}}$$

Параметр насыщения по керну

Коэффициент пористости

ГИС с привязкой по керну

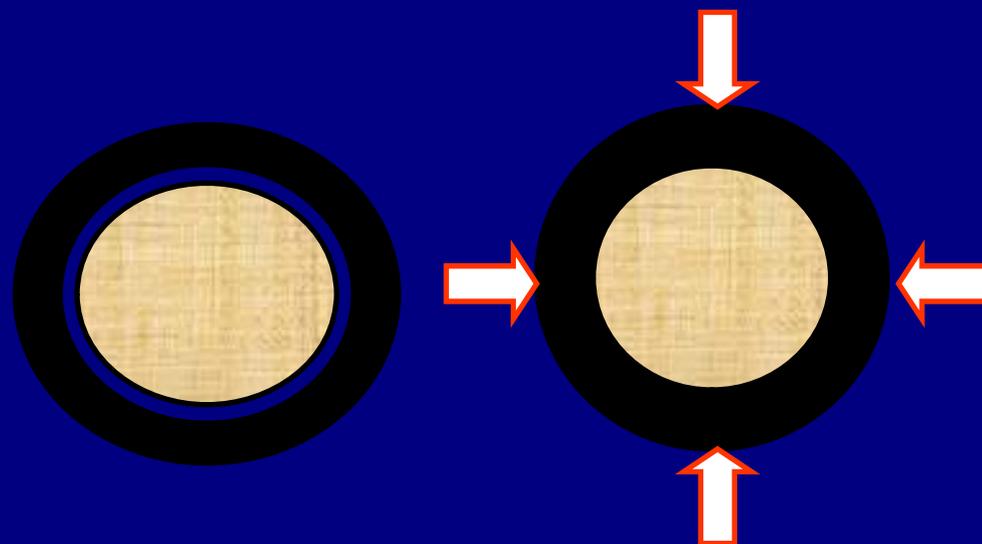
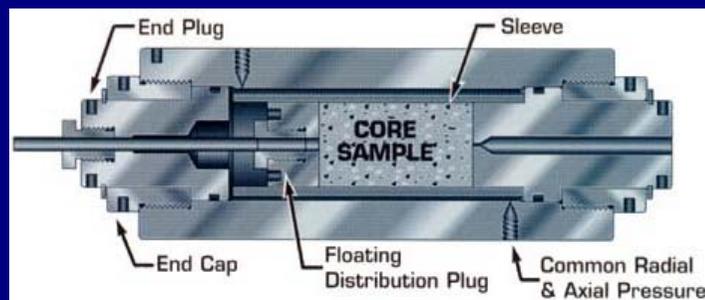
Параметр пористости

по керну

Истинное УЭС пласта по ГИС

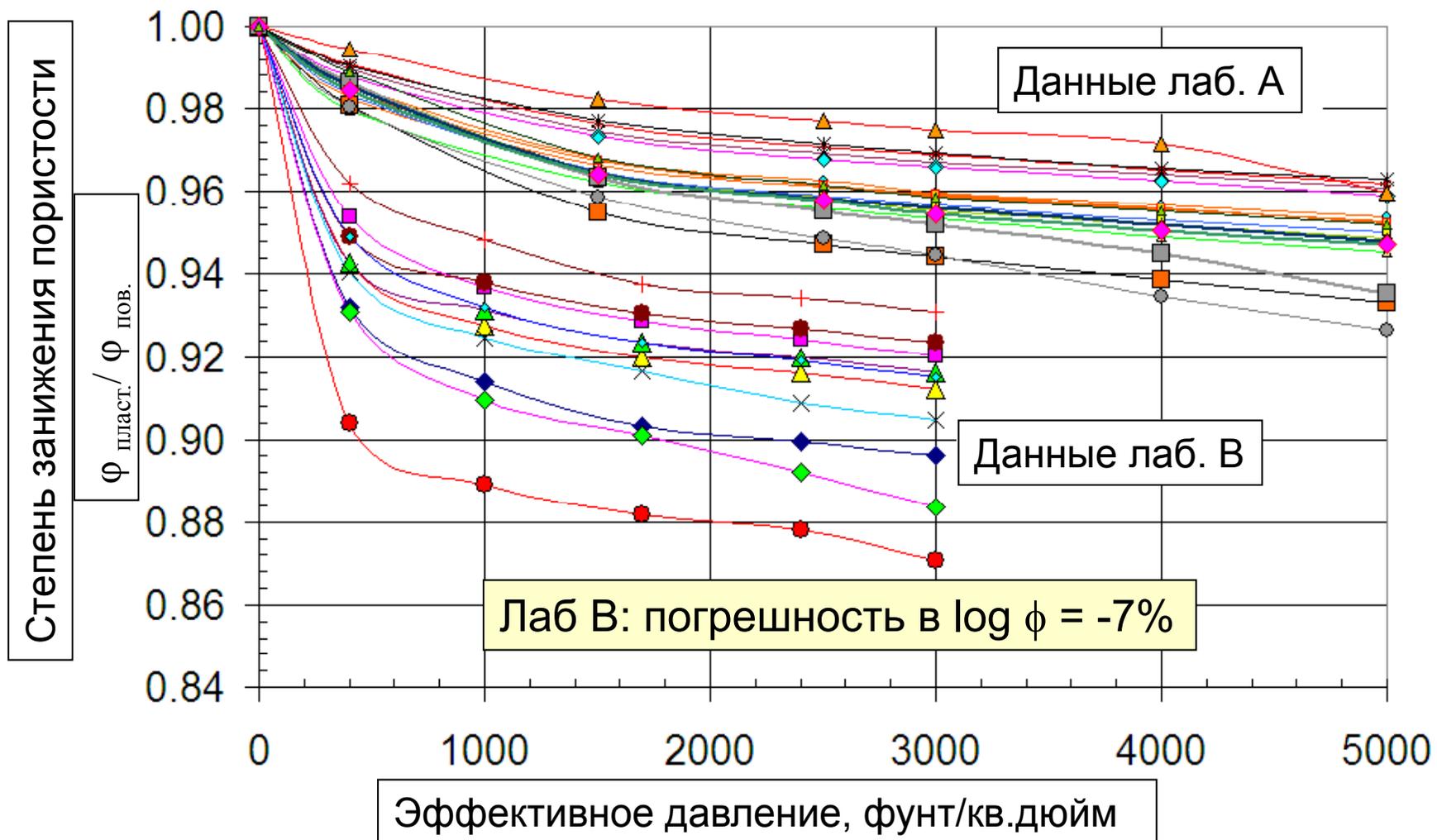
Погрешность определения пористости – избыток пластовой воды

- Correct for excess brine in annulus between core and coreholder test sleeve



- Иначе ... пористость СЛИШКОМ НИЗКАЯ

Погрешность в определении пористости – влияние



Избыток пластовой воды – определение УЭС

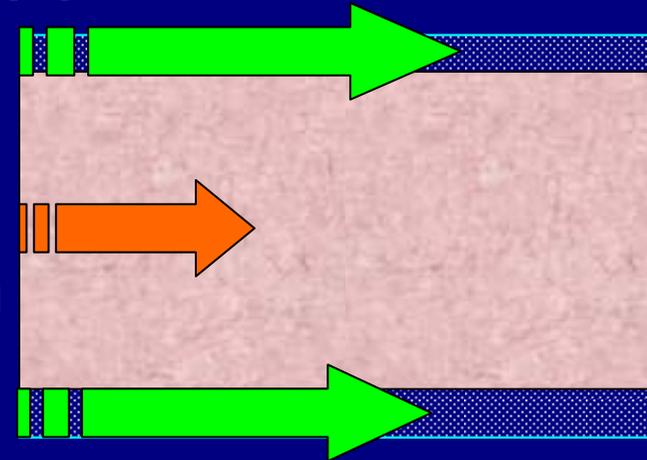
- ‘m’ и ‘n’ в поверхностных условиях
 - Керн должен быть полностью насыщен
 - Избыток воды на поверхности образца
 - Объемный коэффициент (F):
 - Слишком низкое УЭС (R_0)
 - Слишком низкий ‘m’
 - Удельное сопротивление (I)
 - Нет влияния на R_t
 - Слишком высокий ‘n’

$$F = \frac{R_0}{R_w}$$

$$F = \frac{1}{\phi^m}$$

$$I = \frac{R_t}{R_0}$$

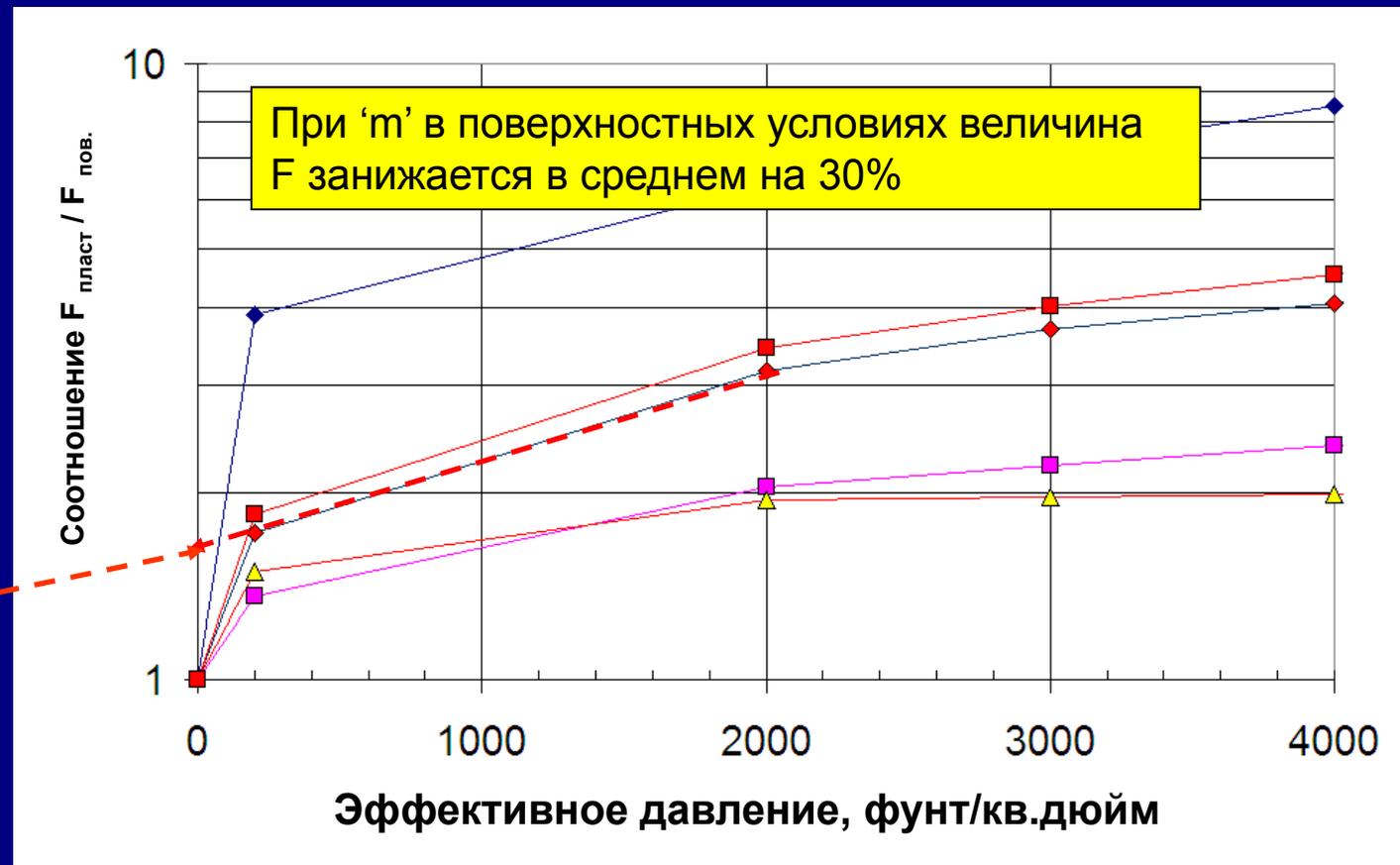
$$I = \frac{1}{S_w^n}$$



Поправка за избыток воды

- Определение объемного коэффициента (F) керна из плотного песчаника в условиях, приближенных к пластовым

$$F = \frac{R_{0true}}{R_w} = \frac{1}{\phi^m}$$

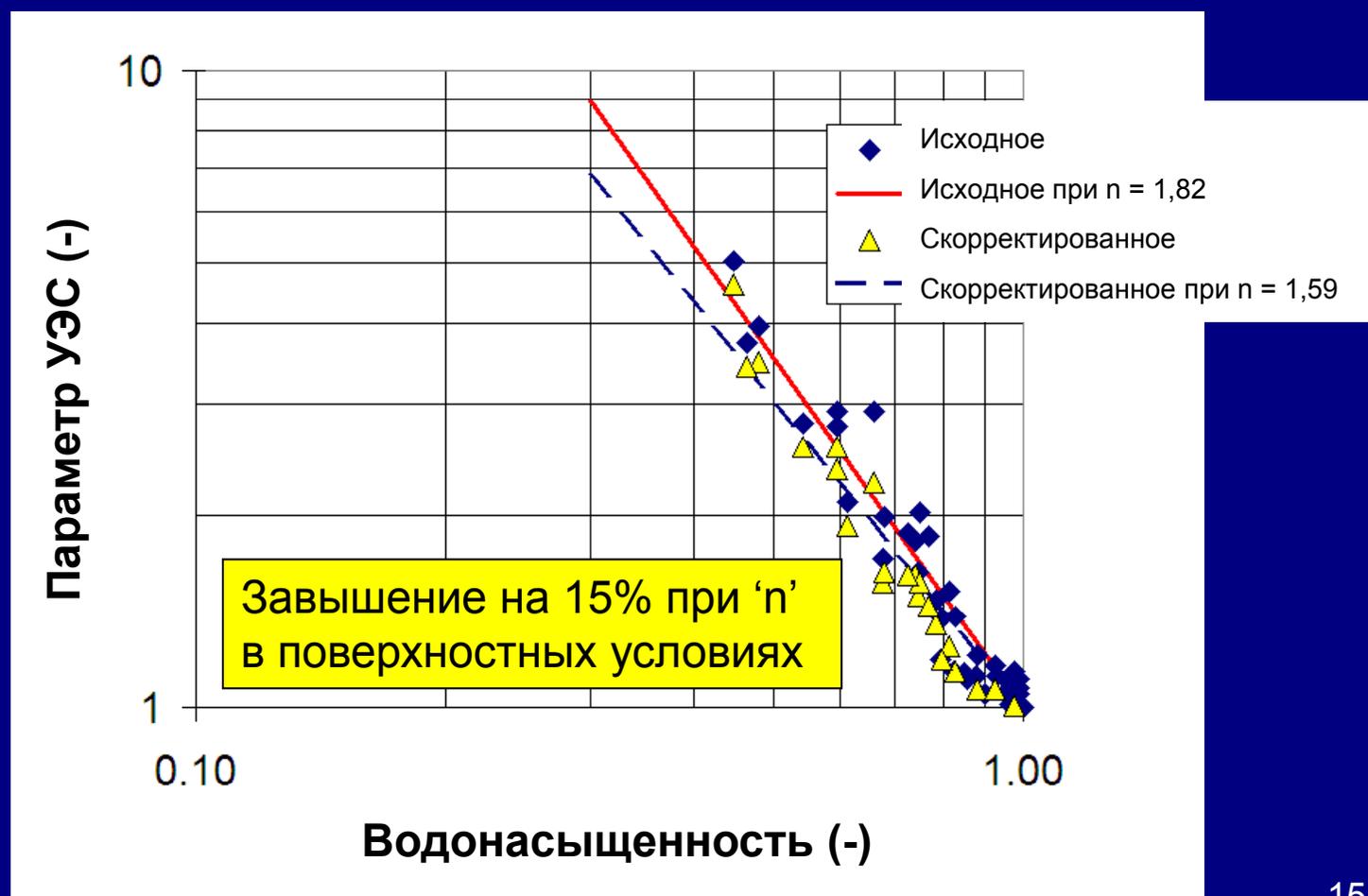


Поправка за избыток воды

- Определение параметра УЭС (I) в поверхностных условиях

$$I_{true} = \frac{R_t}{R_{0true}}$$

$$n = -\frac{\log(R_t)}{\log(R_{0true})}$$



Потери зерен – материальный баланс

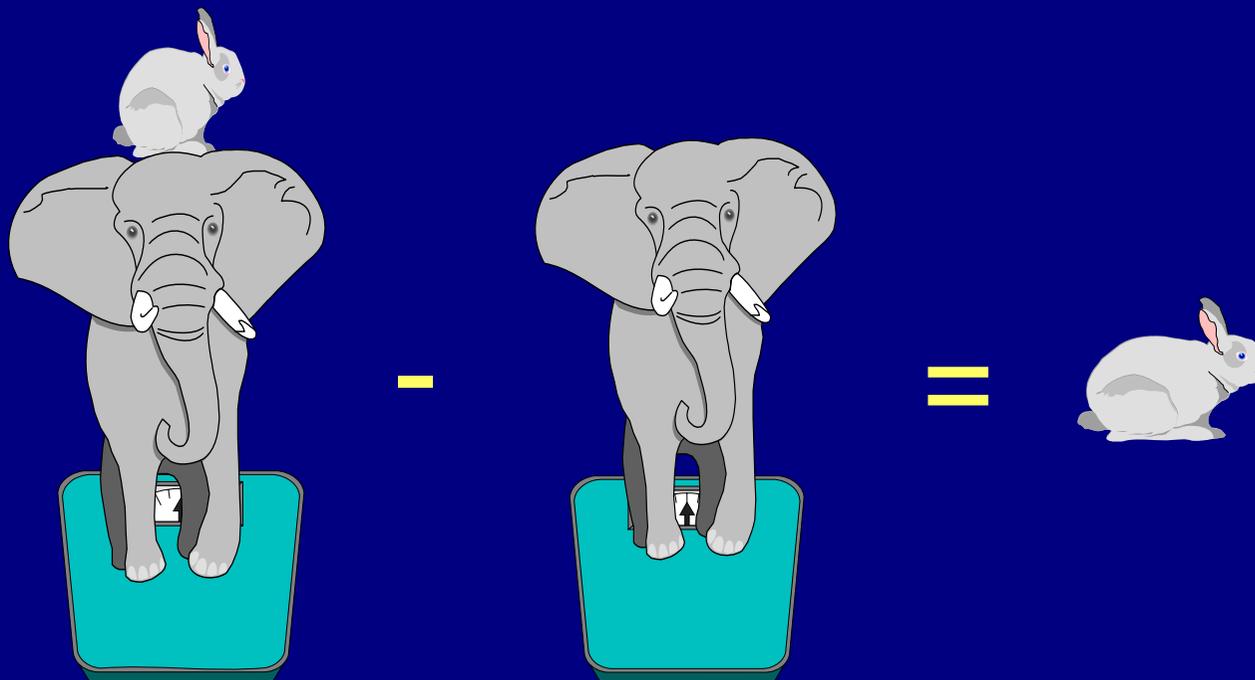
До исследования



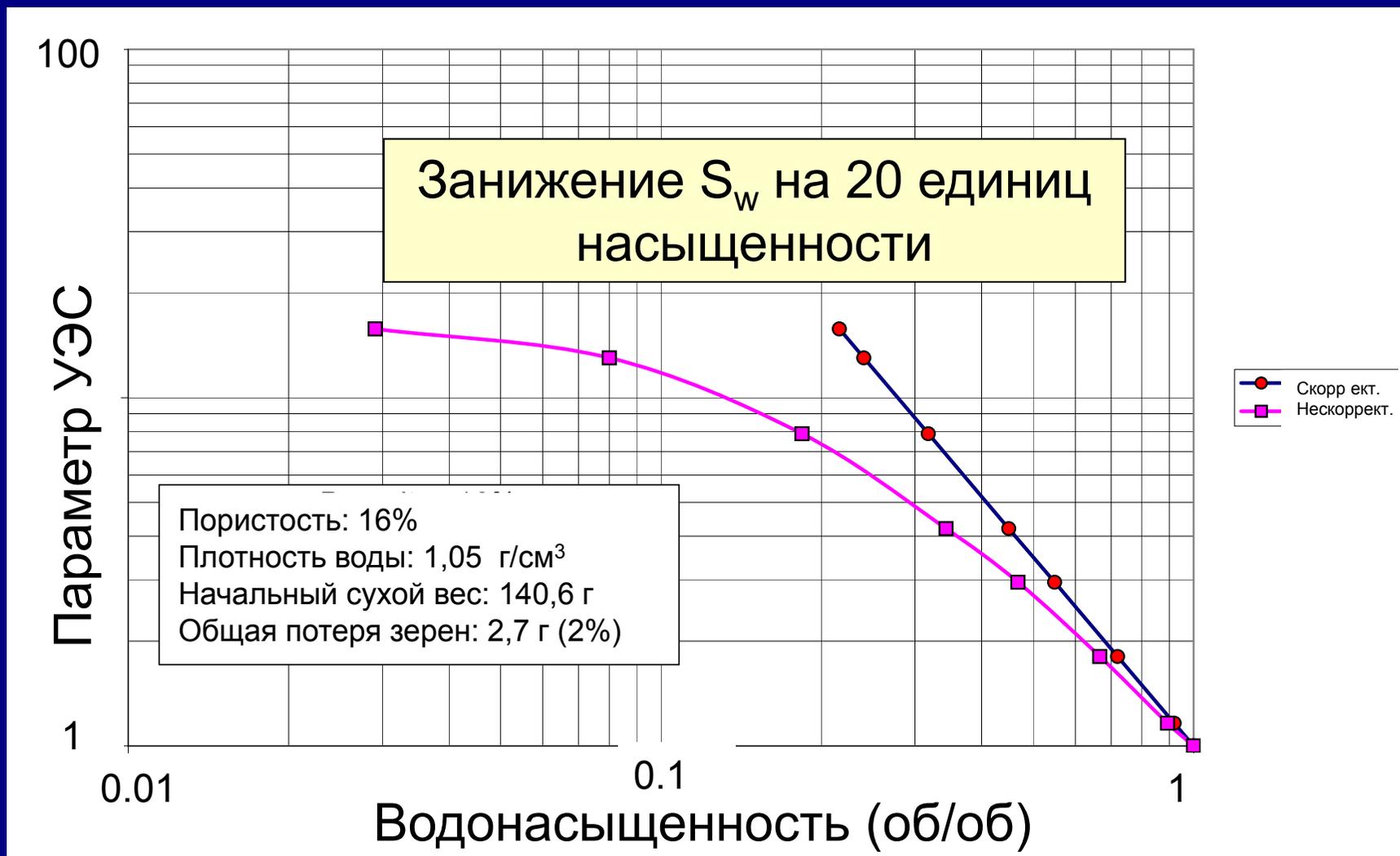
После исследования



Потеря
зерен



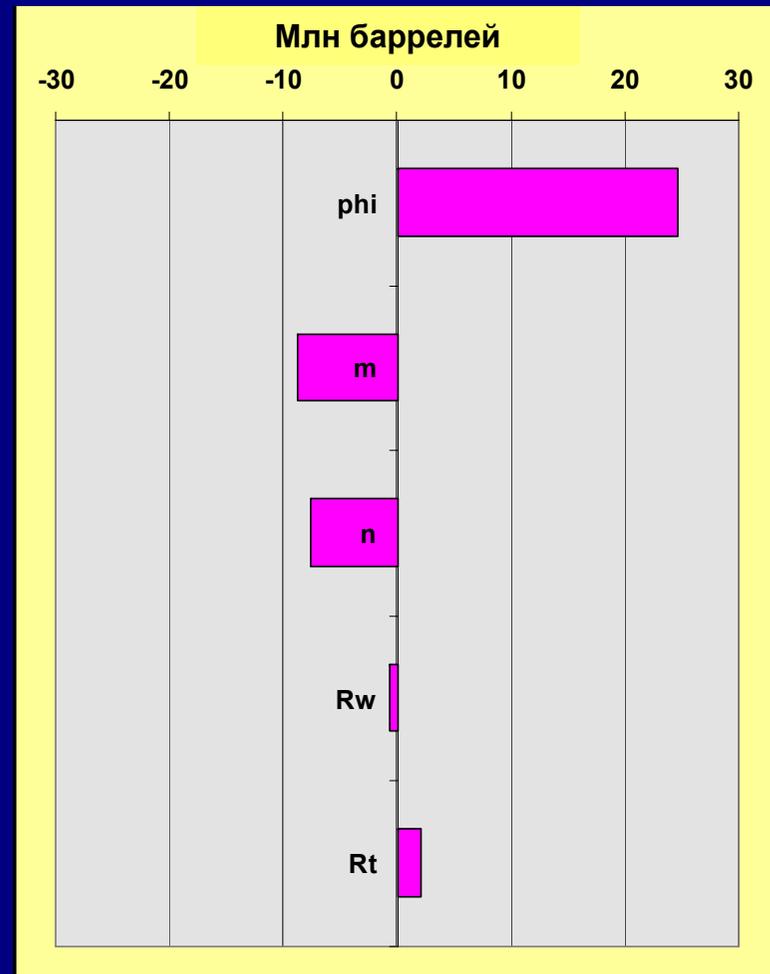
Поправка за потерю зерен



Влияние погрешностей на оценку начальных запасов нефти

- Анализ неопределенностей
 - Пласт в Северном море
 - 20% ϕ и 20% S_w
 - 100 млн баррелей начальных запасов
 - Исходные данные завышены на 20%
- Самое большое влияние
 - ϕ , m и n (керна)

$$S_w = \left[\frac{a}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t} \right]^{\frac{1}{n}}$$

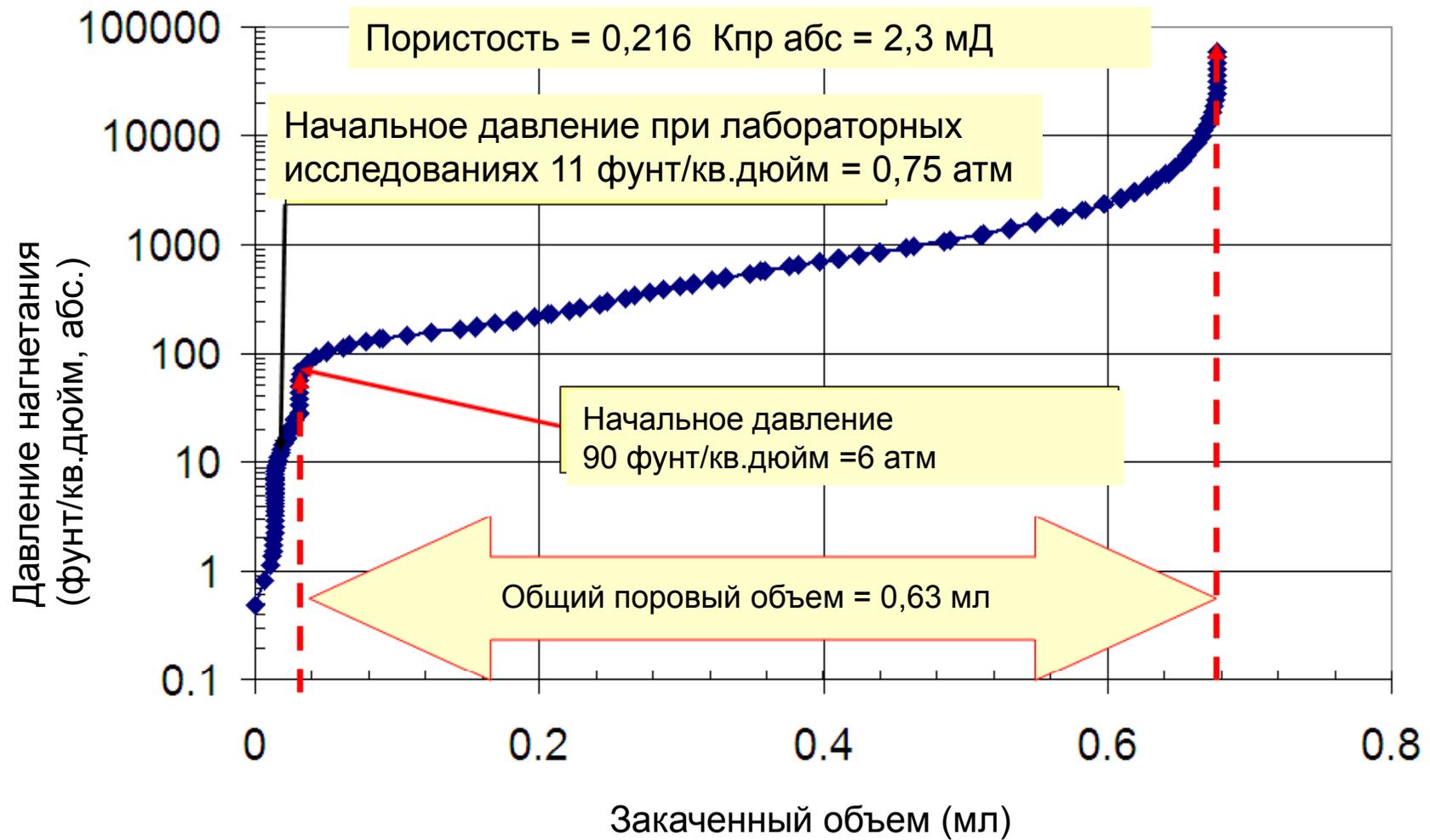


Искажение кривой капиллярного давления

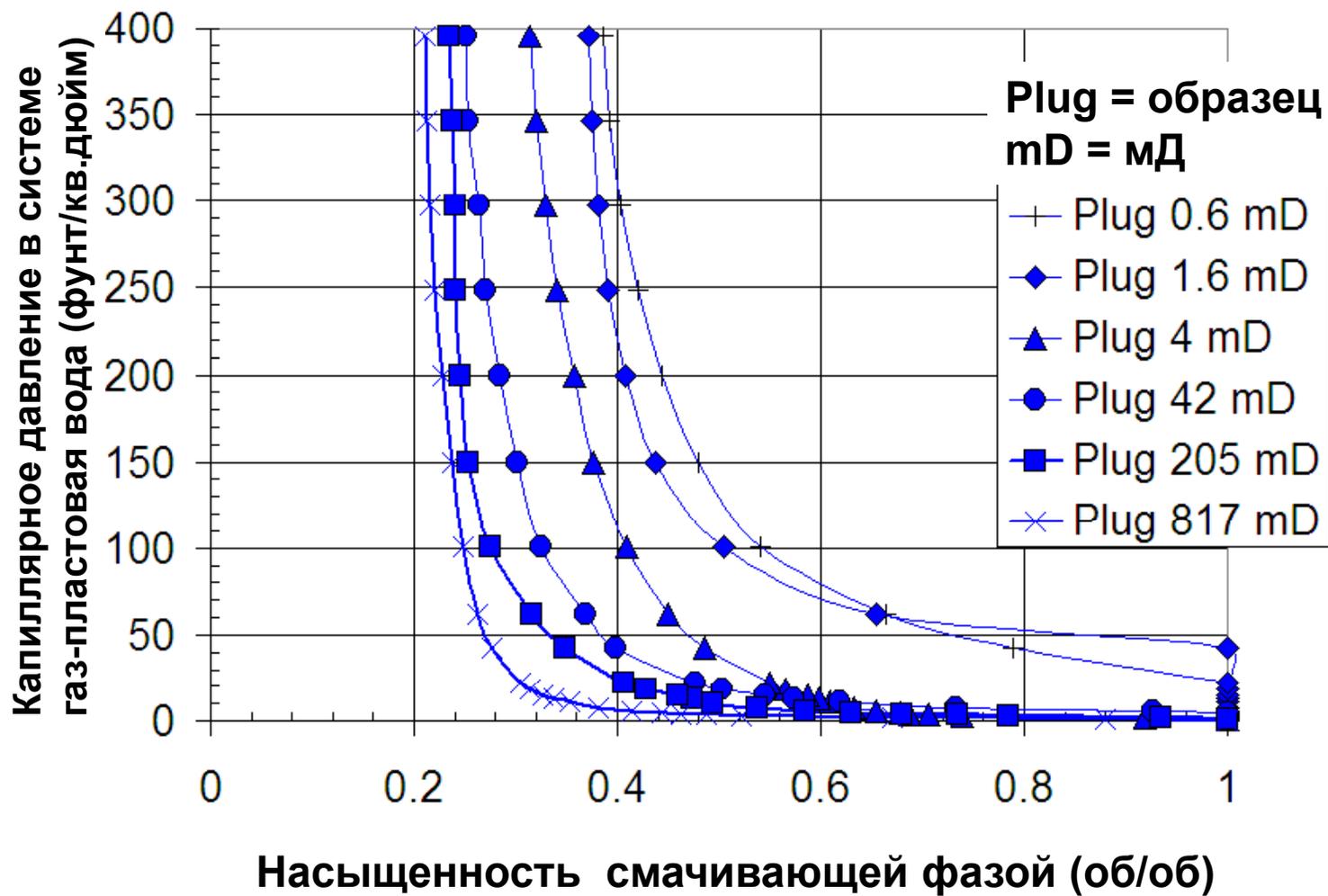
- Ртутная капилляриметрия (MICP)
- До 1994 года: капиллярное давление определялось на образцах объемом 50-80 мл
- Сейчас в большинстве случаев используются торцевые срезы и осколки объемом меньше 10 мл
- Проблемы при построении кривой капиллярного давления (зависимость K_v от $P_{кап}$)
 - используется поровый объем, заполненный ртутью (> 20000 фунт/кв.дюйм)
 - глинистые минералы и разрушение структуры в мелких порах
 - искажение кривых капиллярного давления



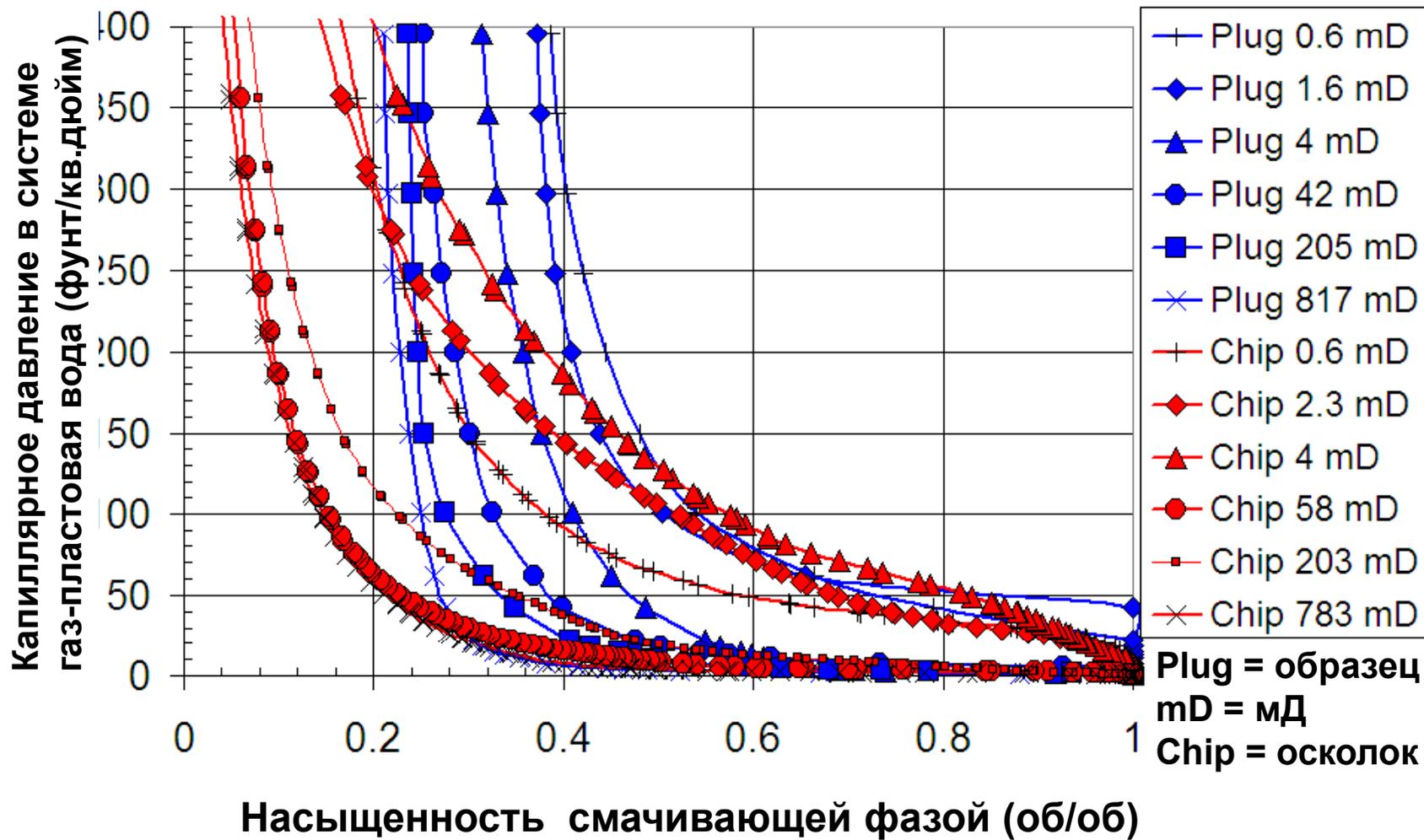
Ртутная капилляриметрия – представительные данные на мелких образцах



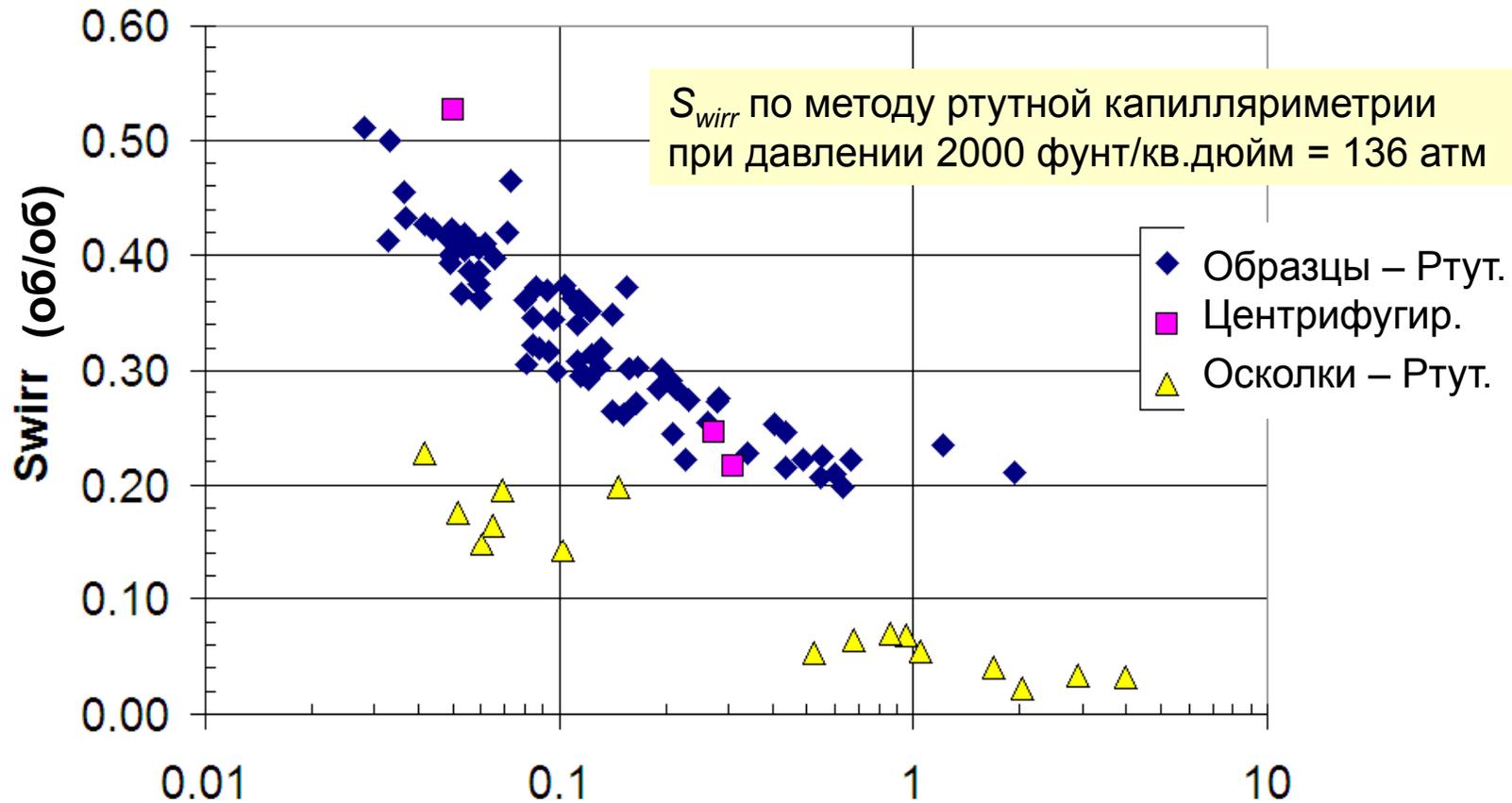
Кривые по методу ртутной капилляриметрии – раньше



Кривые по методу ртутной капилляриметрии – сейчас



Остаточная водонасыщенность, S_{wirr}



RQI - Показатель коллекторских свойств породы (мкм)

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{Ka}{\phi}}$$

Отбор нового керна

- Какие исследования керна нам нужны?
 - Не по принципу «выбрать из списка»
 - Анализ старых данных для выявления недостатков
- Правильно ли подрядчик выполнил интерпретацию?
 - Необходимо проверить “исходные” данные
- Могут ли операторы повысить качество интерпретации лабораторных данных?
 - “Конечные пользователи не должны снимать с себя ответственность за интерпретацию данных керна”
Харрисон, 2010г.

Планирование исследований керна

- Скважинные операции
 - Керновое долото,
промывочная жидкость,
индикаторные жидкости,
сохранность керна



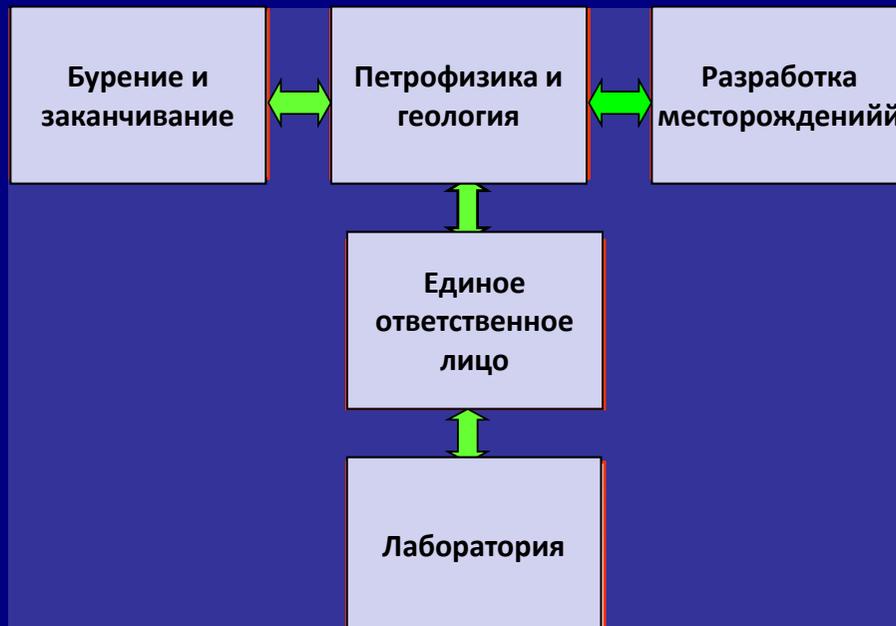
Планирование исследований керна

- Программа исследований керна должна
 - Составляться с учетом производственной необходимости
 - Быть гибкой



Повышение эффективности управления проектом

- Проектная команда
 - Лаборатория – часть команды!
 - Единое ответственное лицо от оператора
 - Контроль качества в режиме реального времени
- Ведущие специалисты
 - Бурильщики / скв. деятельности
 - Геологи на скв.
 - Инженеры буров. Раствора
 - Геологи зак.
 - Петрофизик компании
 - Поставщик разбурив. керна
 - Поставщик анализа керна



Повышение эффективности управления проектом

- Повысить качество документального оформления
 - Технические условия исследований и требования к составлению отчетов
 - Неоценимы при централизации

Изменение зерна в процессе испытаний

Цифровые изображения: Боковая и торцевая поверхности

Снимки зерна перед испытанием и томографические снимки

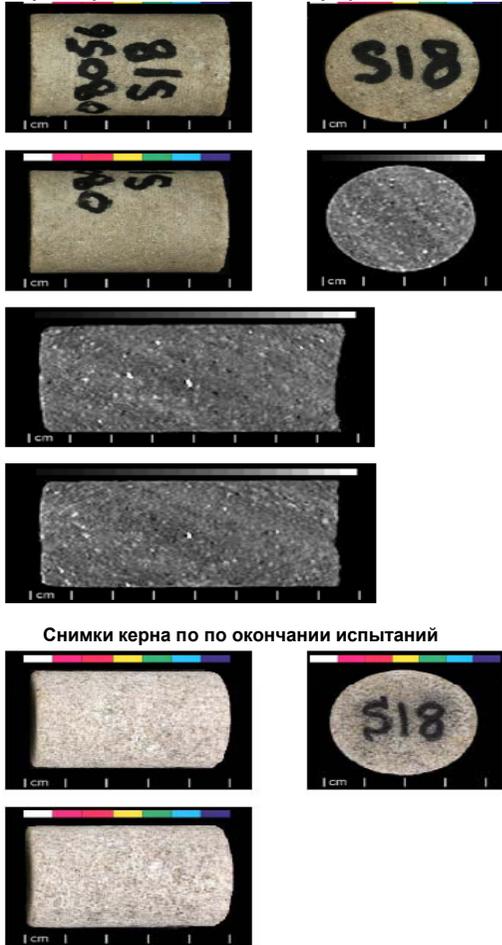
Параметры зерна
Партия: 3
Номер образца: S18
Глубина (м): 3798,27
Длина (см): 4,86
Диаметр (см): 3,65

Основные свойства зерна
В поверхностных условиях
Проницаемость по воздуху (мД): 2345
Пористость (%): 16,3
Плотность зерен (г/см³): 2,680

Последовательность проведения испытаний

↓
Подготовка образца
↓
Компьютерная томография
↓
Экстракция
↓
Полное насыщение пластовой водой
↓
Удельная проницаемость по пластовой воде в поверхностных условиях
↓
Промывка холодным растворителем и контролируемая сушка до постоянного веса
↓
Проницаемость и пористость в поверхностных условиях
↓
Сушка в печи по постоянному веса при температуре 95 °С
↓
Проницаемость и пористость в поверхностных условиях
↓
Полное насыщение пластовой водой
↓
Пористость по закону Архимеда
↓
Удельная проницаемость по пластовой воде в поверхностных условиях
↓
Отчет

Снимки зерна по окончании испытаний



Повышение эффективности управления исследованиями керна

- Повышение качества отбираемого керна
- Логически последовательная и согласованная программа исследований керна
- Дополнительные преимущества
 - Избыточность данных менее 10%
- Лаборатории выполняют более сложные задачи и способствуют заинтересованным сторонам решать поставленные задачи
- Полная проверка всех данных
 - Улучшение условий для управления активами и централизации
- Снижение неопределенности при построении гидродинамических моделей.



Цена – это то, что вы платите. Ценность – это то, что вы получаете. – Уоррен Баффет

THINK big

Society of Petroleum Engineers
www.spe.org



Мыслите широко



Join SPE! Вступайте в SPE!

www.spe.org/join