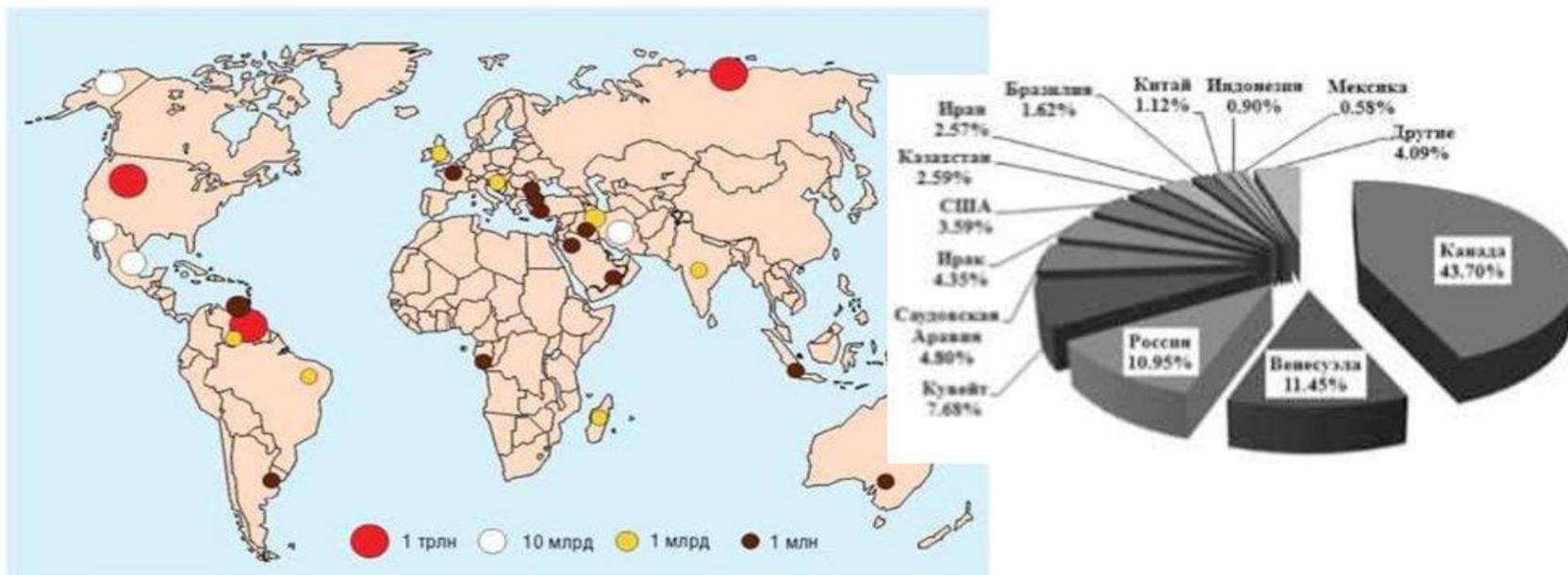


*Подсчет запасов и оценка ресурсов*  
*Лекция 15*

**Альтернативы: нетрадиционные  
скопления УВС**

# Тяжелая нефть

## Мировые запасы тяжелой нефти



Запасы тяжелой нефти в основном сконцентрированы в Канаде (2,5 трлн. баррелей) и Венесуэле (1,5 трлн. баррелей). В том случае, если коэффициент извлечения доказанных запасов составит 20 %, то только на эти две страны будет приходиться больше доказанных запасов, чем кондиционных запасов на всем Ближнем Востоке.

## Нефть традиционная и нетрадиционная



# Соотношение традиционных и нетрадиционных ресурсов углеводородов в мире свидетельствует о доминировании последних (Якуцени В.П., 1995)





Группа  
нетрадиционных  
источников  
углеводородного  
сырья, требующих  
доизучения  
распространения,  
оценки объемов, так  
и поиски и  
разработки  
технологий их  
освоения.

Группа  
нетрадиционных  
источников  
углеводородного  
сырья, требующая  
применения  
специальных  
технологий освоения,  
и не осваиваемая в  
силу не  
разработанности  
технологий.

Группа  
нетрадиционных  
источников  
УВ сырья требующая  
изучения их  
распространенности и  
оценки возможности  
их использования как  
альтернативное УВ  
сырье в будущем.

***Можно выделить три группы  
нетрадиционных скоплений УВ по  
состоянию изученности и  
возможности освоения***

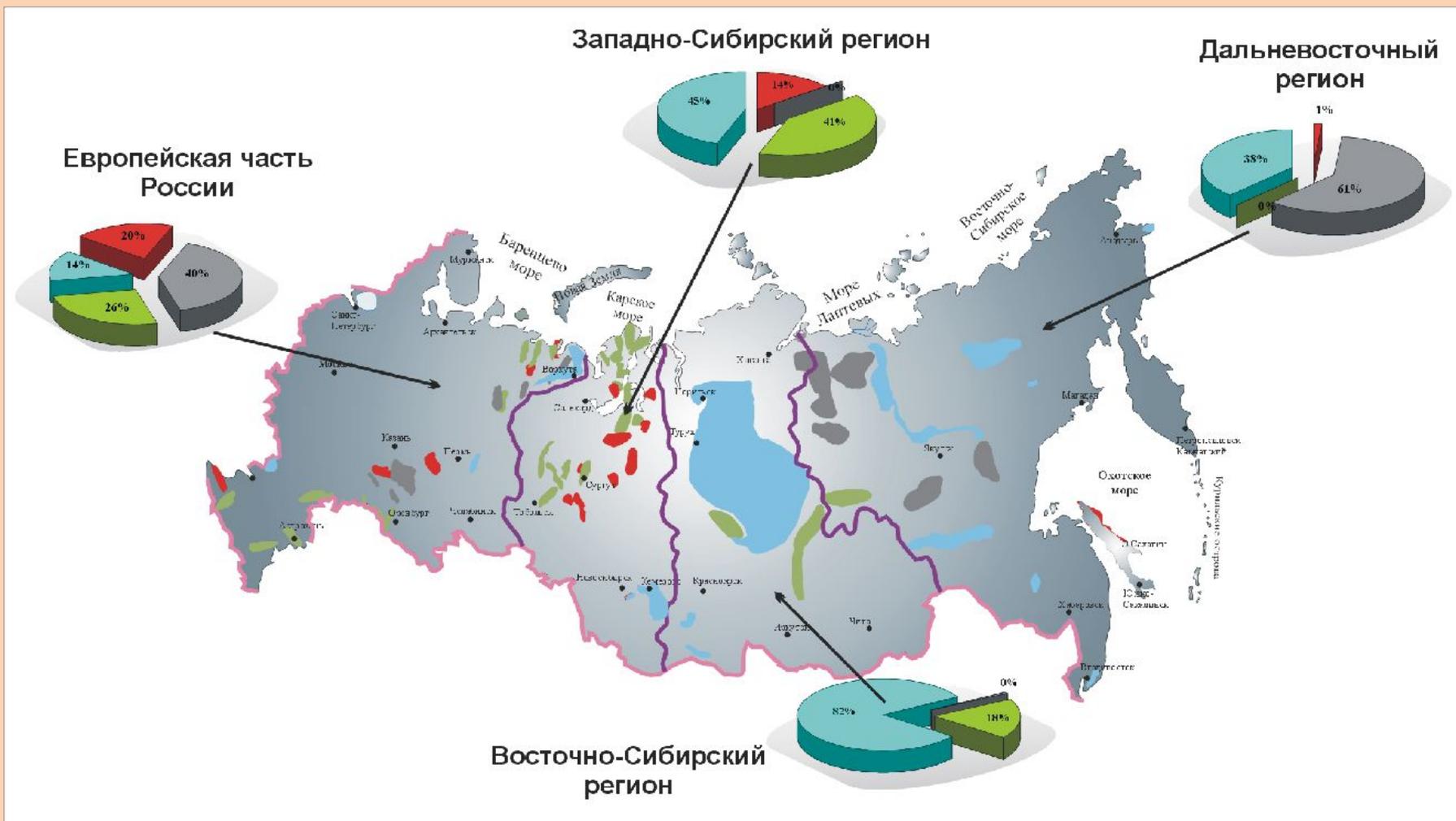
# Критерии отнесения УВ сырья к нетрадиционным источникам

- ▶ **традиционные** включают подвижную нефть (газ) в недрах, для извлечения которых имеются современные эффективные технологии освоения, соответствующие по себестоимости добычи текущему мировому уровню цен на УВ или приближающихся к ним;
- ▶ **нетрадиционные** это *неподвижная* или *плохо подвижная* часть УВ сырья в термодинамических условиях недр, для добычи которой нужны дополнительные технические средства или специальные технологии, обеспечивающие не только его извлечение из недр, но также и его переработку и даже транспорт. Неподвижность в недрах нетрадиционного УВ сырья может быть связана как с его качеством, так и с геолого-промысловыми свойствами вмещающей продуктивной среды или её термодинамическими параметрами.

## Основные критерии отнесения УВ сырья к нетрадиционному:

- ▶ высокая вязкость ( $>30\text{мПа}\cdot\text{с}$ ) и плотность ( $\geq 0,9\text{ г/см}^3$ ) нефти в температурных условиях недр. В их числе тяжелые и сверхтяжелые нефти, мальты;
- ▶ твердое или полутвердое фазовое состояние сырья – природные битумы, асфальты, нефтяные пески;
- ▶ низкие фильтрационные характеристики продуктивных пород, особенно для нефти ( $<0,03\text{-}0,05\text{ мкм}^2$ , в зависимости от термодинамических условий пласта), а так же газы, защемленные (диспергированные) в пространстве закрытых пор в огромных объемах;
- ▶ газы, сорбированные углями и удерживаемые ими в трещинно-поровом пространстве пород вмещающих угли.

# Распределение основных видов нетрадиционных УВ по регионам России крайне неравномерное



Долевое соотношение ресурсов углеводородов в нетрадиционных объектах в пределах отдельных регионов



Высоковязкие и тяжёлые нефти



Битумы с плотностью >1,04 г/см³



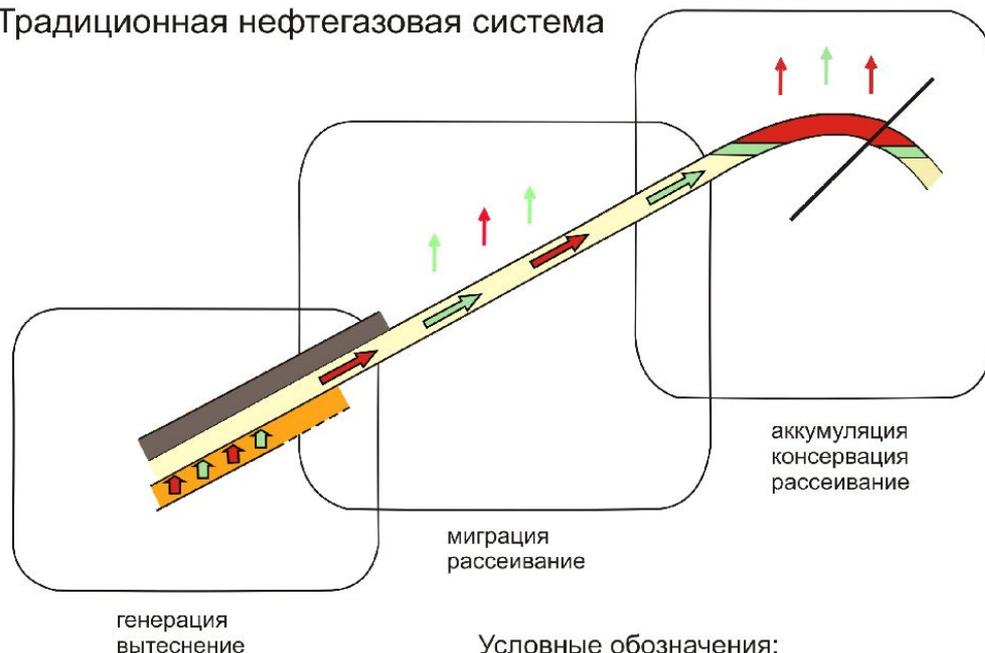
Углеводороды в низкопроницаемых продуктивных коллекторах



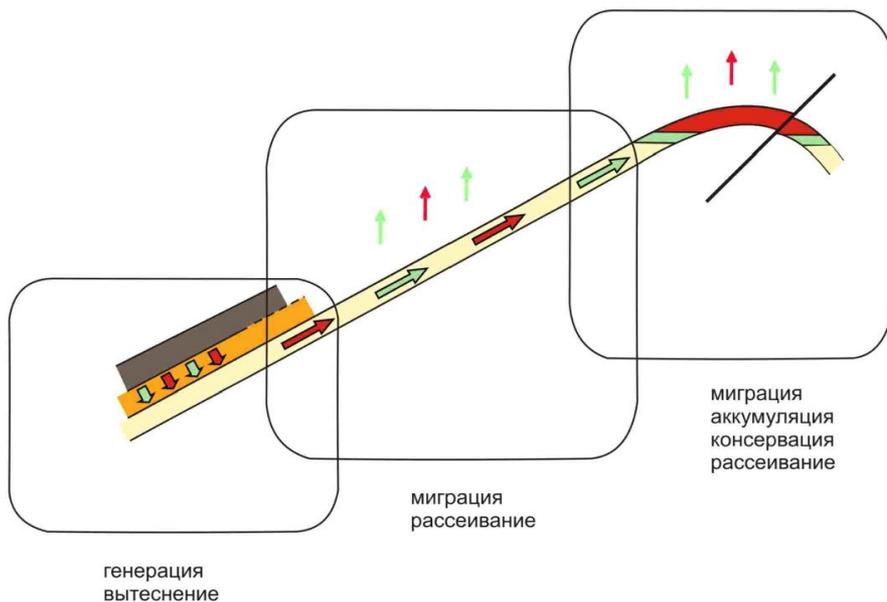
Газ, содержащийся в продуктивных толщах угольных бассейнов

# Различия традиционных и нетрадиционных нефтегазовых систем

Традиционная нефтегазовая система



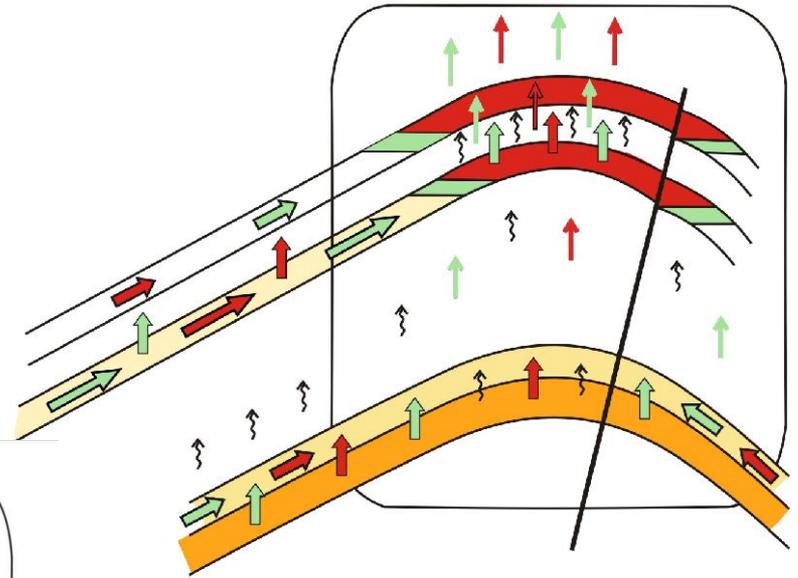
Традиционная нефтегазовая система и процессы



- НГМТ
- транзитная толща
- покрышка
- плохопроницаемый коллектор

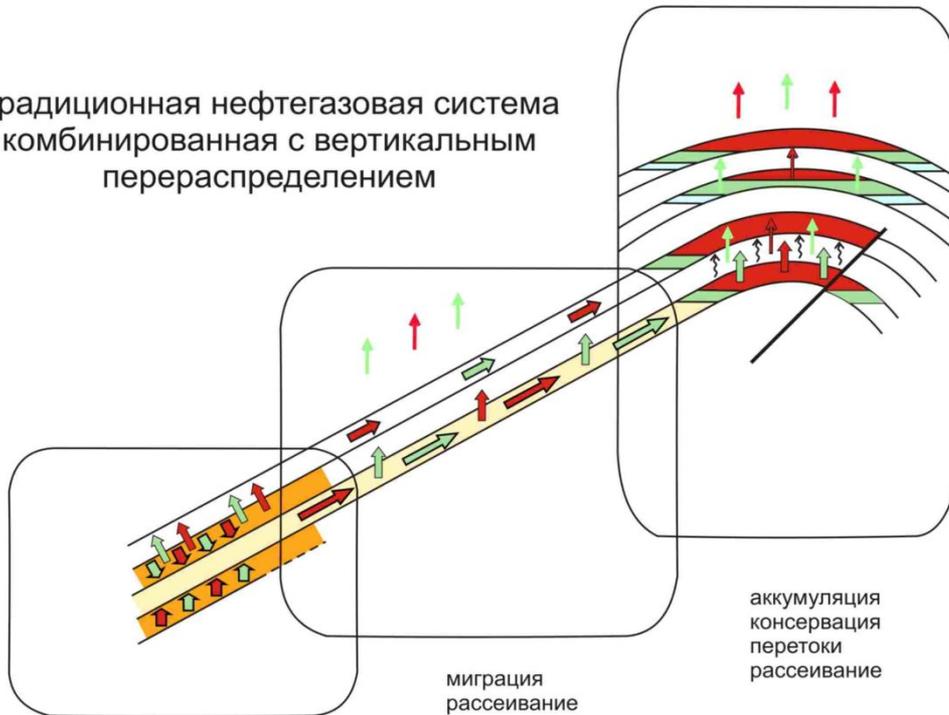
- Основные процессы:
- миграция - нефти
  - миграция - газа
  - вытеснение - нефти
  - вытеснение - газа
  - рассеивание - нефти
  - рассеивание - газа
  - сохранение - нефти
  - сохранение - газа

# Традиционная нефтегазовая система



генерация  
вытеснение  
миграция (вертикальная+латеральная)  
рассеивание  
аккумуляция  
консервация

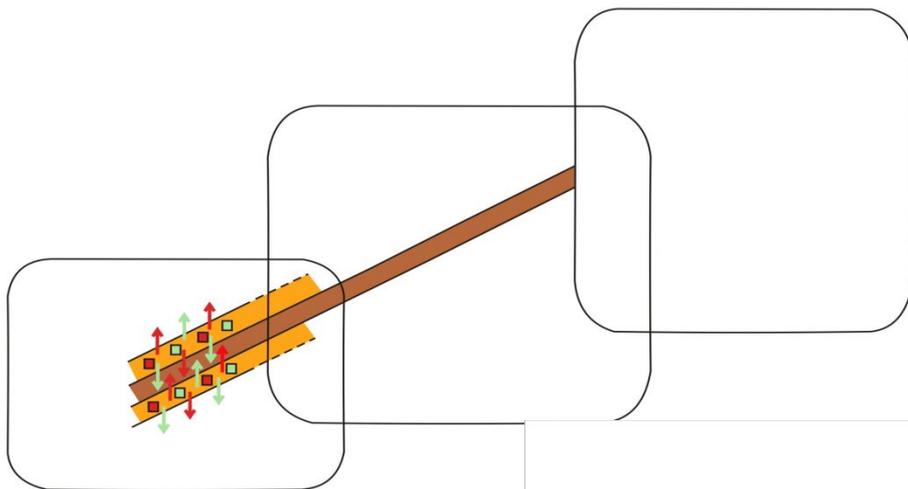
## Традиционная нефтегазовая система комбинированная с вертикальным перераспределением



аккумуляция  
консервация  
перетоки  
рассеивание

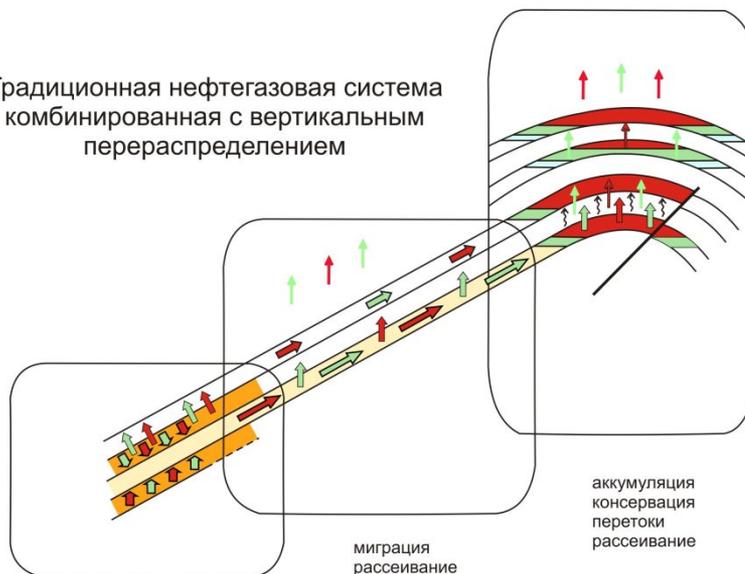
генерация  
вытеснение

# Нетрадиционная нефтегазовая система с сохранением УВ в пределах НГМТ



генерация  
"удержание" (сохранение)  
незначительное вытеснение  
рассеивание

# Традиционная нефтегазовая система комбинированная с вертикальным перераспределением



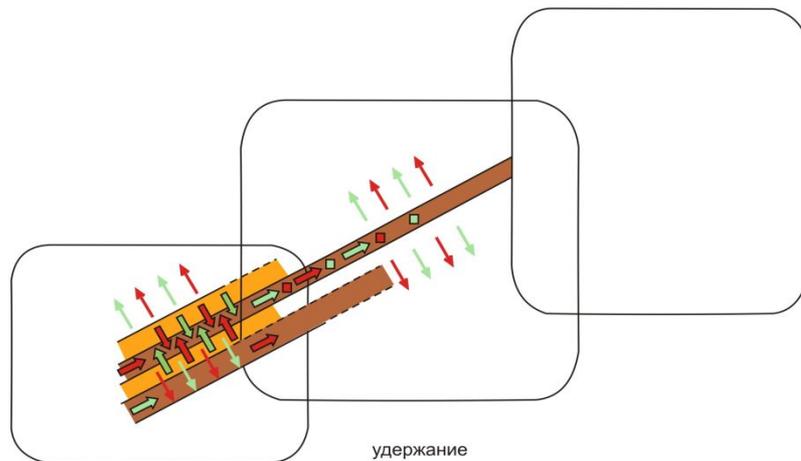
генерация  
вытеснение

миграция  
рассеивание

аккумуляция  
консервация  
перетоки  
рассеивание

Условные обозначения см. Рис. 1

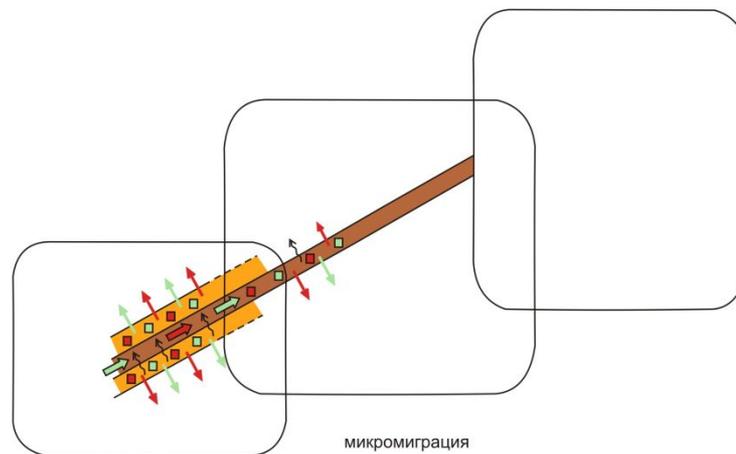
## Нетрадиционная нефтегазовая система с перераспределением УВ в плохопроницаемый коллектор



генерация  
вытеснение  
незначительная миграция  
(в плотном коллекторе)  
рассеивание

удержание  
рассеивание

## Нетрадиционная нефтегазовая система комбинированная с сохранением УВ в пределах НГМТ и с перераспределением УВ в плохопроницаемый коллектор



генерация  
удержание  
вытеснение  
сохранение

микромиграция  
удержание  
рассеивание

Условные обозначения см. Рис. 1

Наибольший интерес из нетрадиционных скоплений сегодня вызывают нефтегазоматеринские высокобитуминозные толщи, отличающиеся высокими концентрациями Сорг. от 2–2,5 до 20-30% (аналогичные формациям Баккен (штат Северная Дакота, США и Канада), Игл Форд (юго-запад Техаса), Монтерей (штат Калифорния, США), Пермский бассейн (штаты Техас и Нью-Мексико, США):

- бажендовская свита (Западная Сибирь),;
- доманиковская формация и ее аналоги (Волго-Урал и Тимано-Печора)
- майкопская серия (хадумская свита в Западном и Восточном Предкавказье и др.),

## *Нетрадиционные объекты*

Среди нетрадиционных объектов углеводородного (УВ) сырья наибольший практический интерес в настоящее время представляют скопления углеводородов в высокоуглеродистых сланцеподобных толщах. На территории России из толщ такого типа наиболее изучены баженовская свита (и ее аналог нижнетутлеймская подсвита) Западной Сибири и доманиковая формация Волго-Урала и Тимано-Печоры. Эти же толщи считаются наиболее перспективными в связи с уже открытыми в них и разрабатываемыми месторождениями УВ.



Первые скважины в формации Bakken были пробурены в 1953 г.

На месторождении Antelope в 1953 г. скважина давала 209 барр./день из средней песчаной части формации.

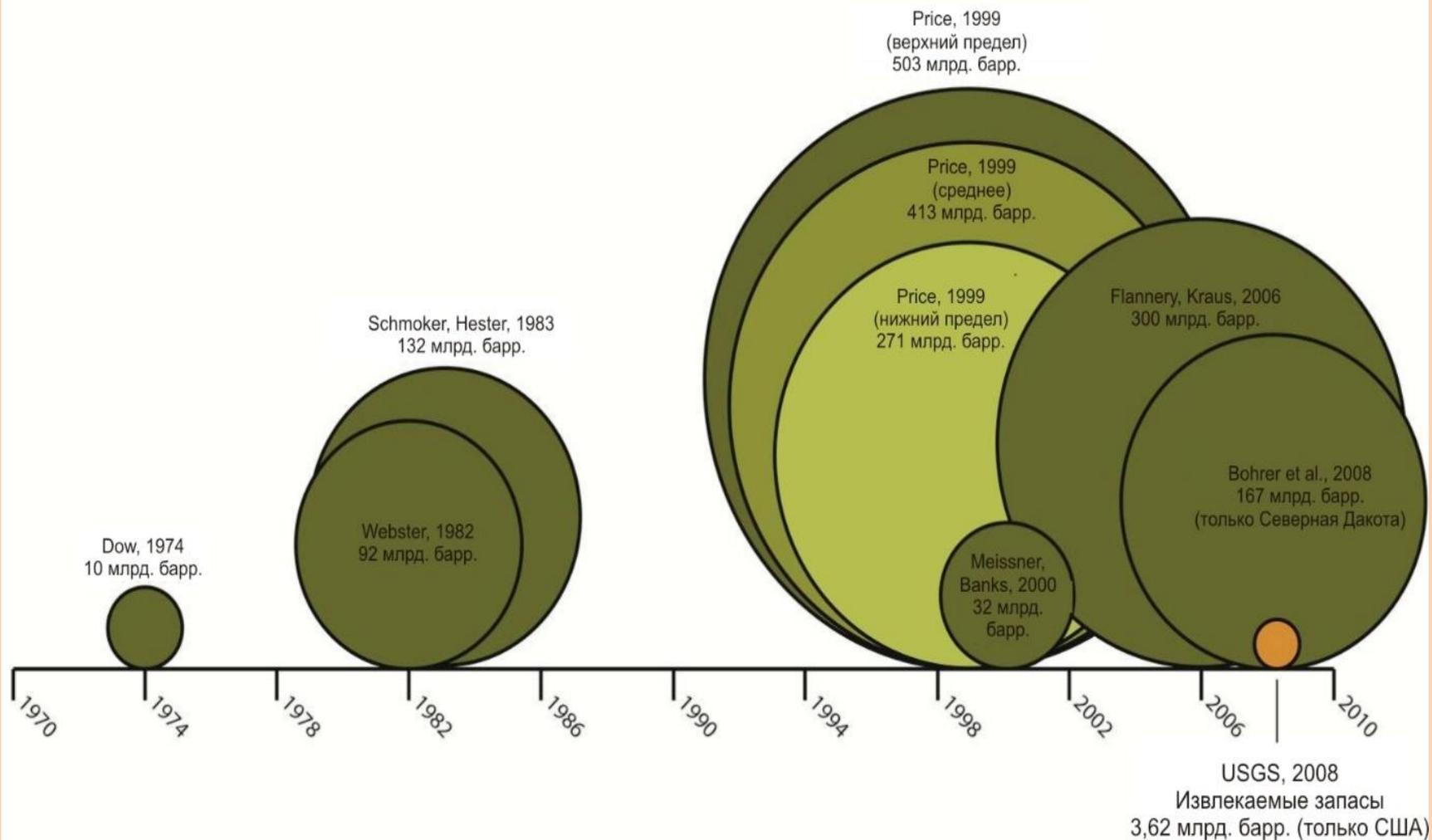
По данным Геологической службы Северной Дакоты, добыча из вертикальных скважин была невысока — 100 тыс. барр./день с 1970 по 2000 г.

Внедрение горизонтального бурения, гидроразрыва пласта и повышение цен на нефть стали импульсом для роста производства.

В 1987 г. первая горизонтальная скважина в верхней сланцевой части дала 258 барр. нефти в день.

Новые технологии привели к открытию наиболее крупного скопления нефти в средней песчаной части, на площади Elm Coulee.

Использование комбинации многоступенчатого (от 24 до 28 стадий гидроразрыва пласта) и горизонтального бурения позволило эффективно осваивать месторождение, ранее не представлявшего промышленного интереса



## История оценки ресурсов нефти формации Ваккен

(USGS, 2010, с дополнениями)

*Указаны фамилии исследователей и год оценки, цифрами обозначены ресурсы нефти.*

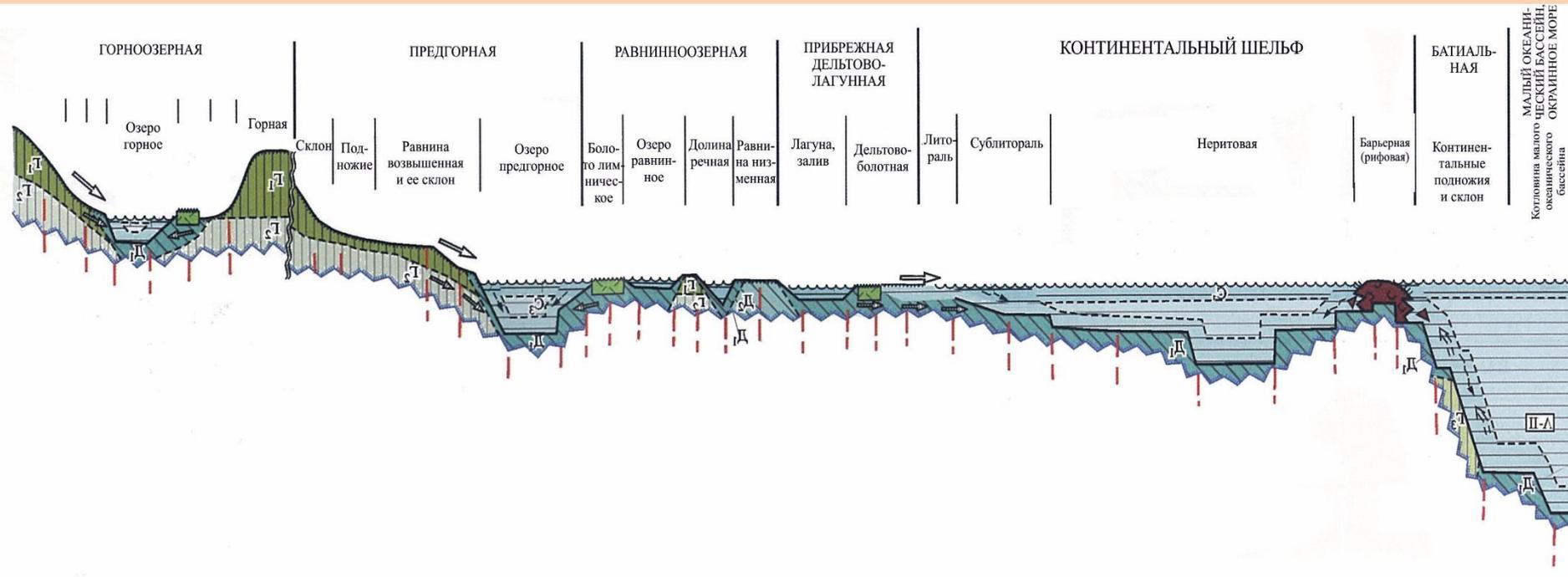
Год	Месяц	Добыча нефти, барр.	Дневная добыча, барр./ день	Количество добывающих скважин	Добыча нефти на 1 скважину, барр.	Дневная добыча нефти на 1 скважину, барр./день
1953	Декабрь	5 429	175	1	5 429	175
1963	Декабрь	73 705	2 378	34	2 168	70
1973	Декабрь	9 252	298	14	661	21
1983	Декабрь	72 225	2 330	60	1 204	39
1993	Декабрь	214 782	6 928	254	8 46	27
2003	Декабрь	50 924	1 643	194	262	8
2004	Декабрь	28 458	1 886	189	309	10
2005	Декабрь	120 970	3 902	219	552	18
2006	Декабрь	314 478	10 144	289	1 088	35
2007	Декабрь	1 028 073	33 164	446	2 305	74
2008	Декабрь	3 496 311	112 784	868	4 028	130
2009	Декабрь	5 101 913	164 578	1 332	3 830	124
2010	Декабрь	8 488 083	273 809	2 064	4 112	133
2011	Декабрь	14 575 316	470 171	3 275	4 450	144
2012	Декабрь	21 854 103	704 971	5 047	4 330	140
2013	Февраль	20 024 182	715 149	5 312	3 770	135

**Статистические данные ежемесячной добычи нефти в формации Баккен\*  
на территории Северной Дакоты [DMR, 2013]**

## *Нетрадиционные объекты*

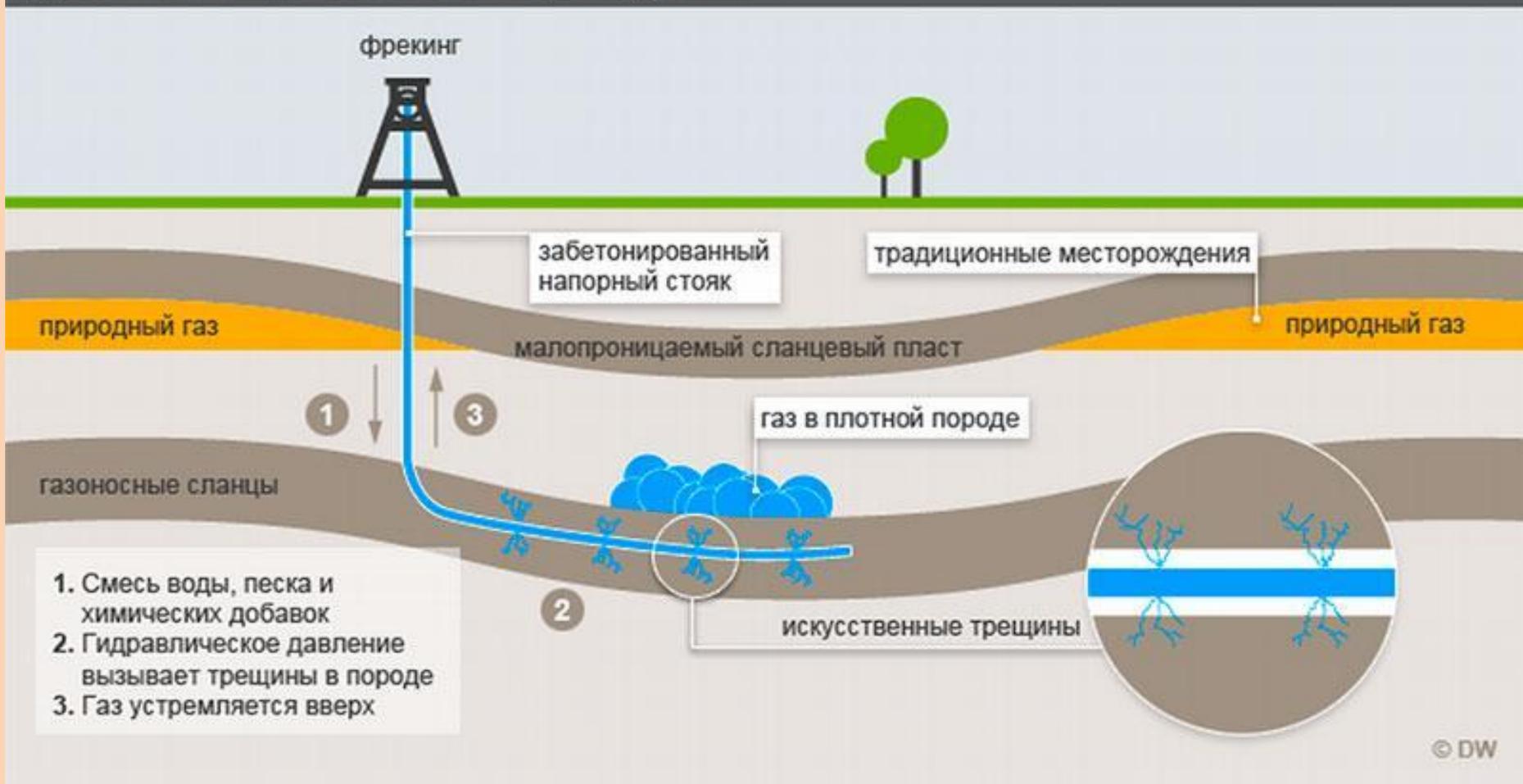
Особенностями строения таких толщ является чередование в разрезе высокообогащенных и относительно менее обогащенных Сорг интервалов. Образовавшиеся в высокообогащенных Сорг интервалах свободные подвижные УВ скапливаются в смежных с ними менее обогащенных Сорг интервалах, которые в этих толщах являются не только нефтематеринскими, но и нетрадиционными «коллекторами» (резервуарами).

# Профиль



# Технологии добычи существенно отличаются

## Добыча сланцевого газа методом фрекинга



## *Нетрадиционные объекты*

Образующиеся в таких нетрадиционных «коллекторах» скопления УВ не контролируются структурным планом и не содержат подошвенных и законтурных вод. Предполагается, что скопления УВ в этих толщах связаны с протяженными резервуарами, имеющими широкое площадное распространение.

Эти особенности существенно затрудняют выделение и оконтуривание перспективных объектов в подобных толщах, оценку ресурсов и подсчет запасов, содержащихся в них УВ. Для этих целей требуются специальные подходы.

## *Нетрадиционные объекты*

Основным методом оценки геологических ресурсов УВ в высокоуглеродистых сланцеподобных толщах в настоящее время можно считать **объемный метод**, суть которого заключается в определении массы нефти, приведенной к стандартным условиям, находящейся в пустотном пространстве пород, слагающих оцениваемый резервуар.

Оценку ресурсов объемным методом в высокоуглеродистых сланцеподобных толщах следует проводить в следующей последовательности:

## *Нетрадиционные объекты*

*Выделение объекта оценки.* Объектом оценки ресурсов в толще высокоуглеродистых сланцеподобных пород является «протяженный» резервуар (стратиграфический интервал и область распространения высокоуглеродистых сланцеподобных толщ), содержащий подвижные параавтохтонные УВ.

*Выделение нефтенасыщенных пород в разрезе.* Нефтенасыщенная толщина в высокоуглеродистых сланцеподобных толщах - это толщина пород, содержащих подвижные УВ, в пределах объекта оценки.

*Определение коэффициентов емкости и нефтенасыщенности.* Емкость высокоуглеродистых сланцеподобных пород - доля пустотного пространства, в котором содержатся подвижные УВ.

Значения коэффициента нефтенасыщенности, на данном уровне изученности нетрадиционных коллекторов,

## *Оценка ресурсов*

Одним из подходов к оценке прогнозных ресурсов нефти в нетрадиционных коллекторах высокоуглеродистых толщ является подход, основанный на результатах анализа пород методом Rock-Eval.

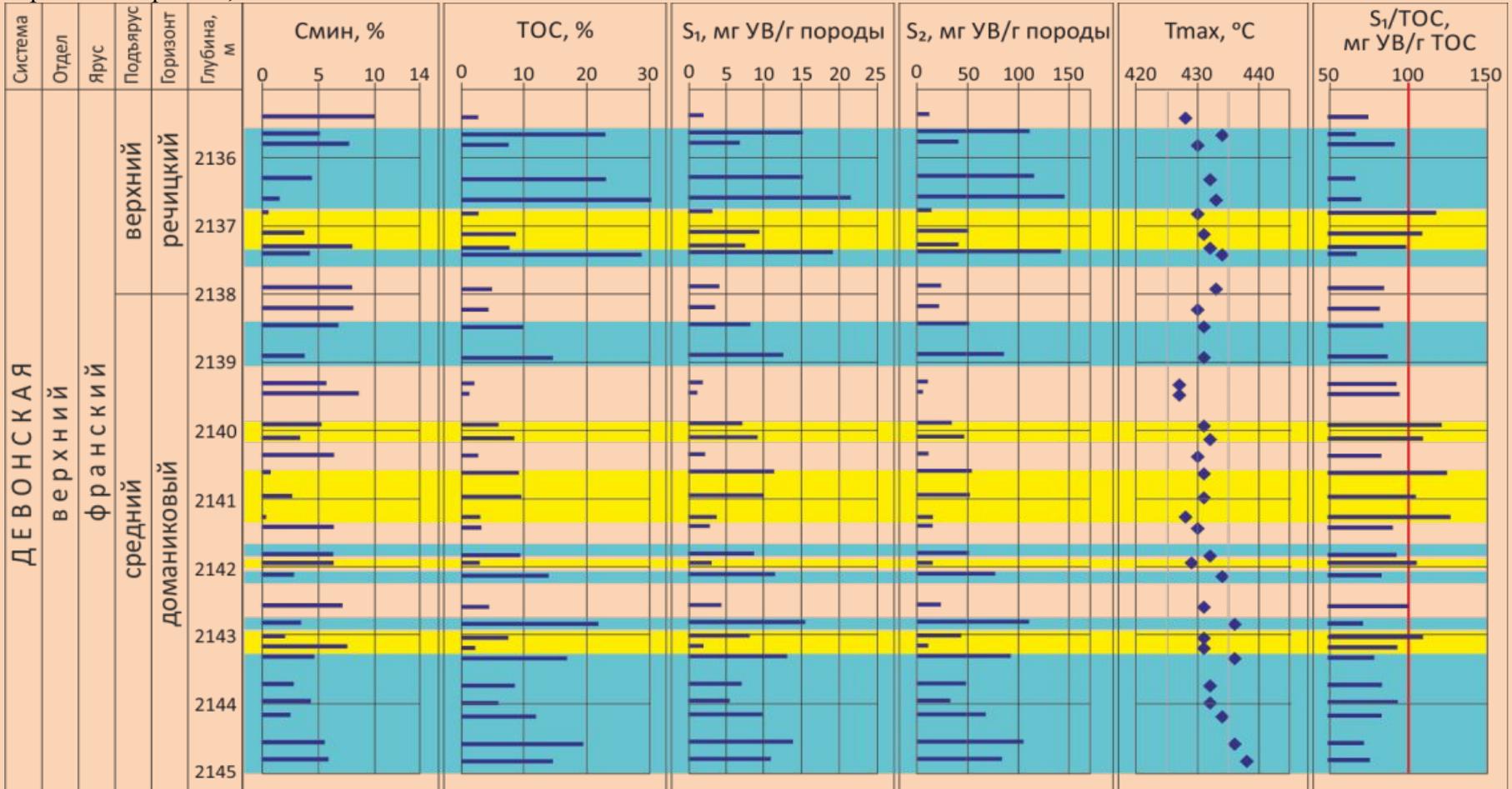
Этот подход является одним из самых надежных, поскольку в отличие от оценки ресурсов, основанной на множестве условно принятых параметров, метод Rock-Eval позволяет получать прямую информацию о количестве нефти, содержащейся в выделенном объекте оценки.

Объектом оценки в высокоуглеродистых сланцеподобных толщах являются интервалы, содержащие подвижные свободные УВ (другими словами, нефтенасыщенные интервалы).

Нефтенасыщенные интервалы в разрезе толщи отличаются от вмещающих их отложений аномально высоким содержанием свободных УВ ( $S_1$ ) относительно концентрации органического углерода ( $S_{орг}$  или ТОС) (рисунок).

# Геохимический разрез доманиковых отложений

Параметры Rock-Eval: Смин – содержание карбонатного углерода, ТОС – содержание органического углерода,  $S_1$  – содержание свободных УВ,  $S_2$  – остаточный генерационный потенциал,  $T_{max}$  – температура выхода максимума пика  $S_2$ , показатель зрелости керогена,  $S_1/TOC$  – индекс нефтенасыщенности



нефтенасыщенные интервалы, выделяемые по anomalно высокому содержанию свободных УВ относительно общего содержания  $S_{org}$

высокобогатенные ОВ интервалы, которые, как правило, не являются коллекторами

## *Оценка ресурсов*

Критерием для выделения нефтенасыщенных интервалов в отложениях доманикового (баженовского) типа является величина  $S_1/\text{ТОС}$ , превышающая 100 мг УВ/г ТОС, поскольку именно это значение является пороговым для насыщения сорбционной ёмкости материнского керогена и содержащих его пород. Величина этого порогового значения была эмпирически установлена для большинства изученных нефтематеринских отложений в различных регионах мира (Jarvie D.M., 2012).

Решение задачи оценки остаточного потенциала УВ в нефтегазогенерирующей сланцевой толще и выделения зон наибольшей концентрации УВ возможно с применением геохимических, литолого-петрофизических и оптико-спектрометрических методов исследований при разделении объемов сингенетических ОВ и эпигенетических битумоидов

# Сравнение оценок УВ сланцевых материнских формаций России

	Баженова Т.К., 2015	Прищепина О.М. и др., 2014		Ahlbrandt et al., 2005	
	остаточное количество нефти в формации, млрд. т	технические ресурсы		будущая нефть (газ) нефтегазовой системы	
		нефти, млрд. т	газа, трлн. м <sup>3</sup>	нефти, млрд. т	газа, трлн. м <sup>3</sup>
Доманиковская формация: Тимано-Печорская провинция Волго-Уральская провинция	58,6	8,3	4,6	2,03	1,67
	218,0	9,5	3,5	3,25	2,35
Куонамская формация	250,0	1,7	11,2	-	-
Баженовская формация	1700,0	26,45	9,38	15,7	4,7
Хадумская / Майкопская* свита	197,0	-	-	4,5*	5,9*

## Доманиковская формация (Восточно-Европейская платформа)

### Тимано-Печорская провинция

Рассеянные УВ	нефть – 62 млрд. т	УВ в очагах концентрации	нефть – 52 млрд. т
	газ – 22 трлн. м <sup>3</sup>		газ - 12 трлн. м <sup>3</sup>

Всего по провинции: нефть – 114 млрд. т (8,3 млрд. т технически извлекаемых) газ 34 трлн. м<sup>3</sup> (4,6 трлн.м<sup>3</sup>)

### Волго-Уральская провинция

Рассеянные УВ	нефть – 54 млрд.т. т.	УВ в очагах концентрации	нефть – 68 млрд.т
	газ – 23 трлн. м <sup>3</sup>		газ -6 трлн м3

Всего по провинции: нефть – 122 млрд. т (9,5 млрд.т.) газ – 29 трлн. м<sup>3</sup>(3,5 трлн.м<sup>3</sup>)

Всего технически извлекаемых по доманиковской формации для всей платформы: нефть – 17,8 млрд. т; газ - 8,1 трлн. м<sup>3</sup>

### Куонамская формация (Сибирская платформа)

Рассеянные УВ	нефть – 22 млрд. т.	УВ в очагах концентрации	нефть -6 млрд.т.
	газ -н/з		газ – 56 млрд. м <sup>3</sup>

Всего по куонамской формации технически извлекаемые: нефть – 1,7 млрд.т.; газ – 11,2 трлн. м<sup>3</sup>

### Баженовская формация (Западно-Сибирская платформа)

Рассеянные УВ	нефть – 195 млрд. т.	УВ в очагах концентрации	нефть – 167 млрд.т.
	газ – 45,8 трлн. м <sup>3</sup>		газ - 24 трлн. м <sup>3</sup>

Всего по баженовской формации технически извлекаемые: нефть 26,45 млрд. т; газ – 9,38 трлн. м<sup>3</sup>

Всего по основным углеводородсодержащим сланцевым формациям России технически извлекаемых: нефть 45,05 млрд. т; газ 22,28 трлн. м<sup>3</sup>

# Оценка ресурсов нефти и газа

Алгоритм.

1. Исключаются интервалы разреза с незрелым ОВ по ГИС с использованием установленных связей керн - ГИС;
2. Для расчетов используются только интервалы со зрелым ОВ; (показатели  $f$  , определенный по данным ИК спектроскопии);
3. Проводятся расчеты плотности эмиграции (показатели  $f$ ,  $PI^0$   $PI^x$  ,  $NI^0$ ,  $NI^{0x}$ ) и оцениваются объемы УВ с учетом мощности пород ( $h$  ) и распространения по площади ( $S$  );
4. Отдельно определяется мощность ( $h$ ) и распространение по площади ( $S$ ) эпибитумоидов, по

# *Количественная оценка нефтематеринских пород с использованием модифицированного балансового расчёта*

Значения  
пиролитических  
показателей  
определяемые  
экспериментально:  
ТОСх, НІх, РІх.



Значения  
показателей,  
отражающих  
состав ОВ

Значения пиролитических  
показателей, относящиеся к  
началу катагенеза ОВ



**Плотность  
эмиграции УВ**

**Исходные значения  
пиролитических  
показателей:  
S1, S2, ТОСх, НIх,  
PIх.**

**Результаты  
битуминологи-  
ческого  
анализа**

**Оценка доли  
сингенетических и  
эпигенетических  
битумоидов в  
исследуемых образцах**

**Значения пока-  
зателей, отража-  
ющих состав ОБ**

**Исправленные значения  
пиролитических  
показателей**

**Модифицированный  
Балансовый расчёт**

**Плотность  
эмиграции УВ**

**Катагенез;**

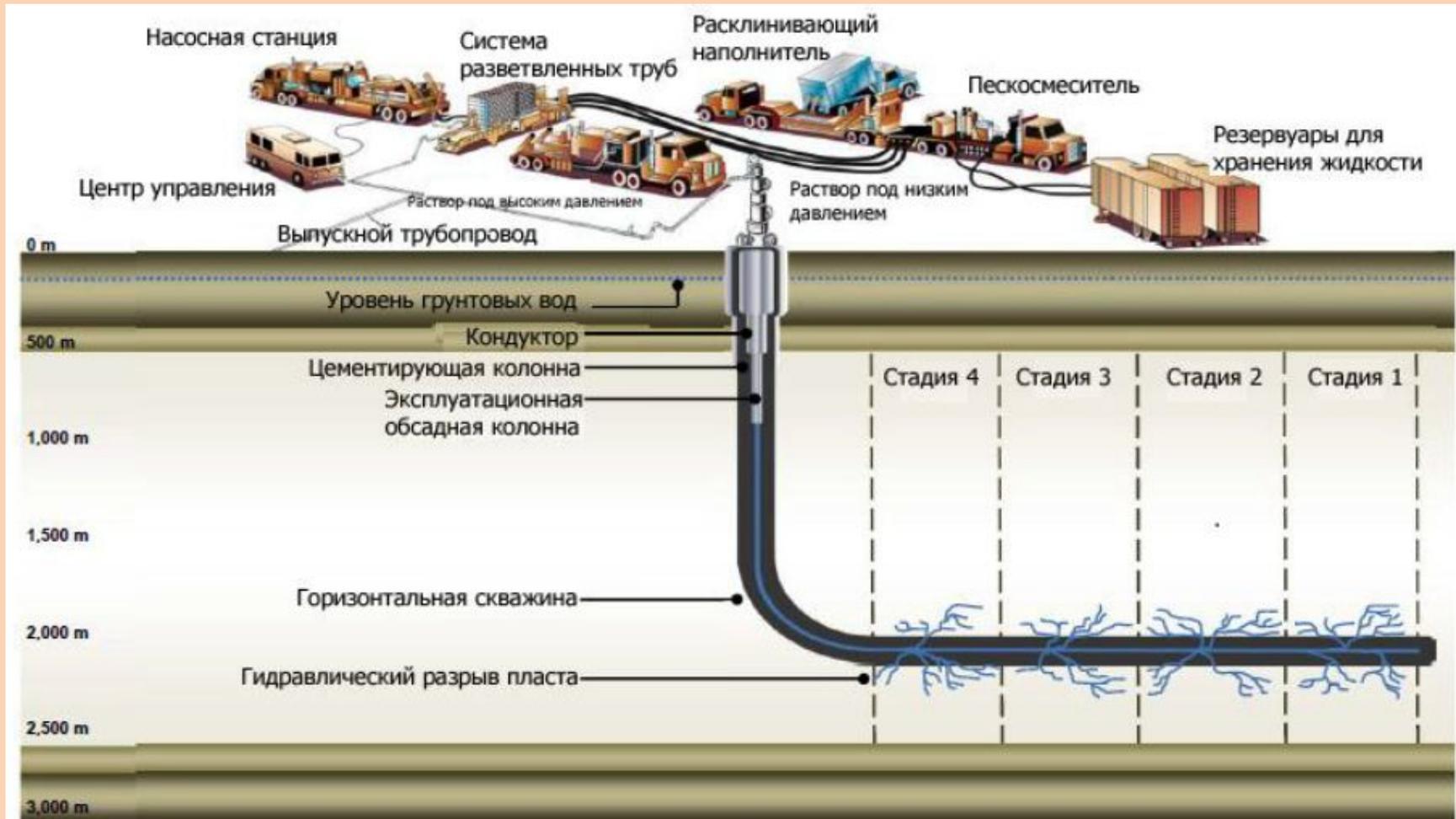
**значения пиролитических  
показателей, относящиеся к  
началу катагенеза ОБ**

**Генерационная модель Неручева**

**Жидкие УВ**

**УВ - газы**

# *Гидравлический разрыв пласта направлен на создание искусственной трещиноватости*

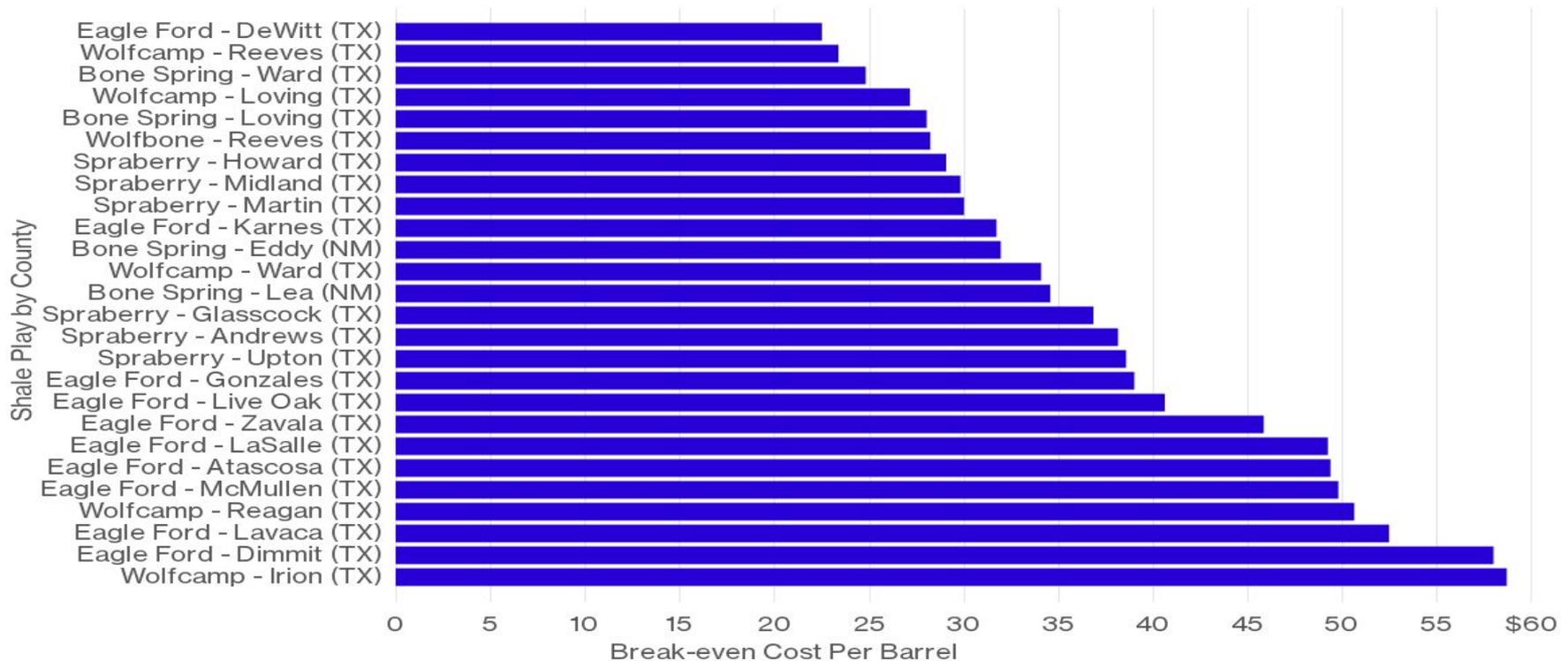


**Рисунок - Схема ГРП в горизонтальной скважине**

# Себестоимость добычи сланцевой нефти в некоторых округах штата Техас в пределах Игл Форд и Пермского бассейна

## Breaking Bad

Some parts of the Eagle Ford and Permian Basin are profitable to drill with oil at \$30 a barrel



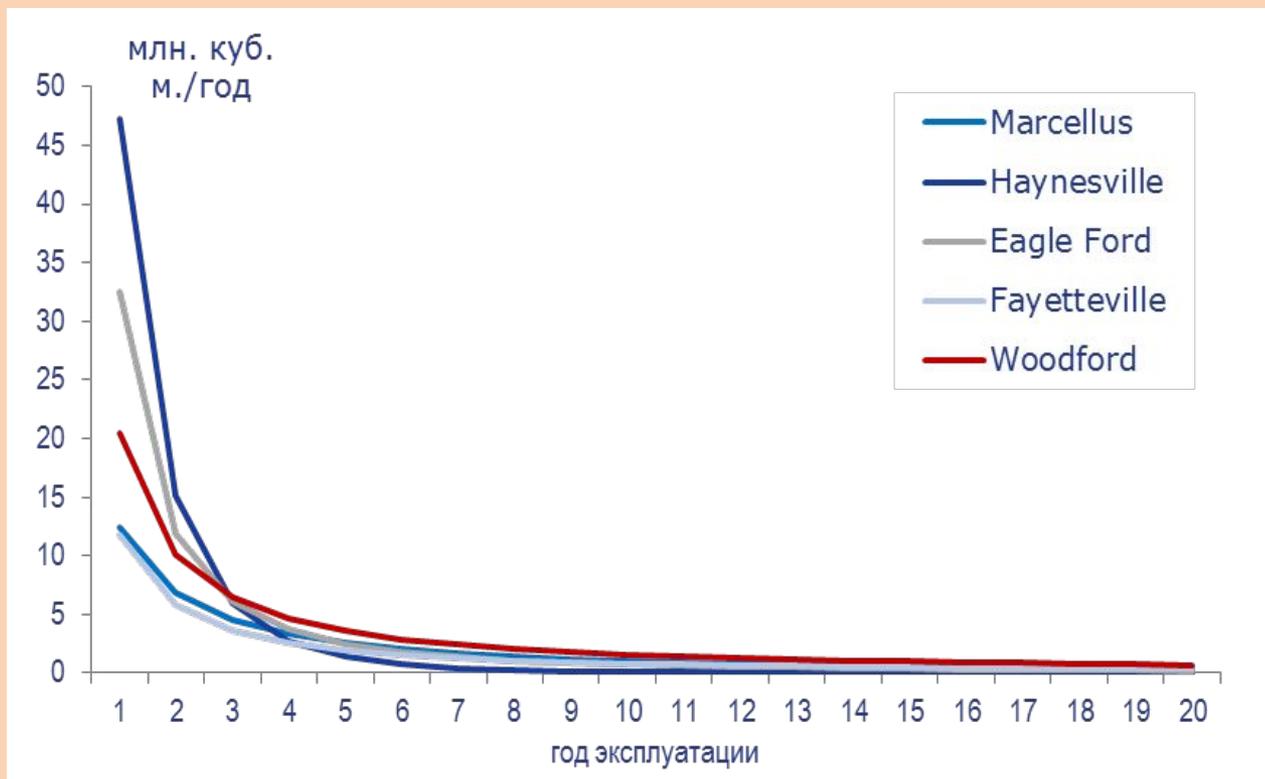
Source: Bloomberg Intelligence

Note: Wolfcamp, Bone Spring, Wolfbone and Spraberry are shale formations in the Permian Basin

# Снижение цены на нефть резко сократило объемы бурения скважин в США, что отразилось на величине добычи сланцевой нефти



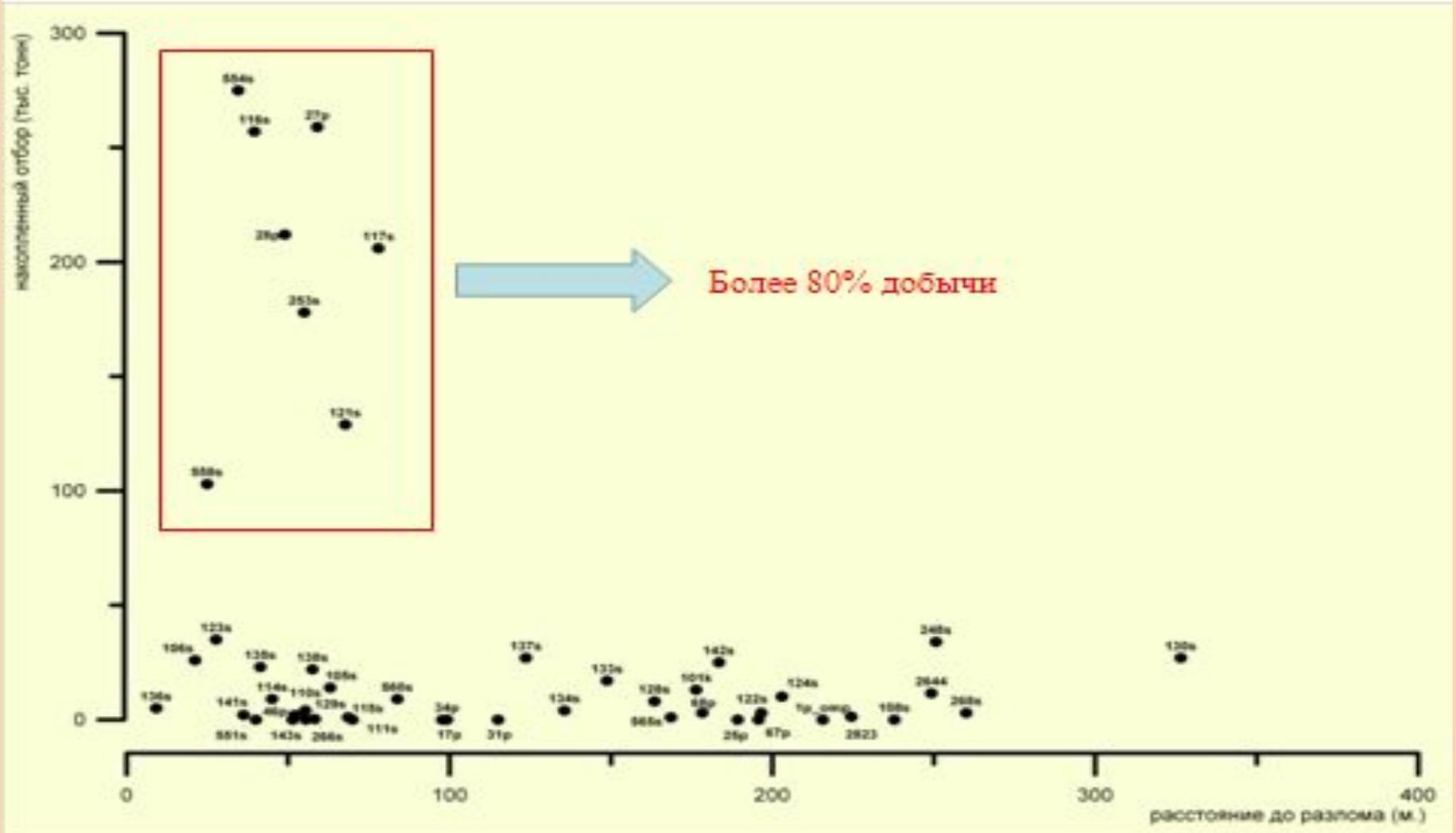
## Продуктивность скважин на основных месторождениях сланцевого газа в США



Источник: EIA, AEO  
2012

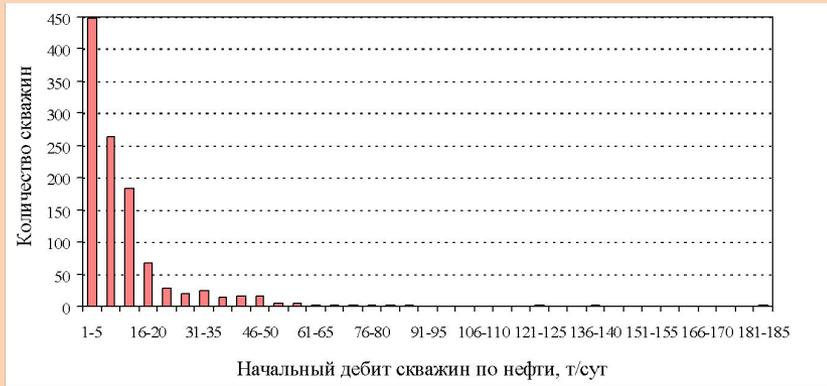
Пробуренные эксплуатационные скважины на начальном этапе дают высокий приток газа, который стремительно падает уже через год – на 55-85%. После трех лет эксплуатации сланцевая скважина обеспечивает в среднем около 14% от начального притока.

**Распределение скважин Салымского месторождения, дренирующих пласт Ю0, по величине накопленного отбора нефти (по данным Глухманчука Е.Д., ООО «ЦГМ», 2013г.)**

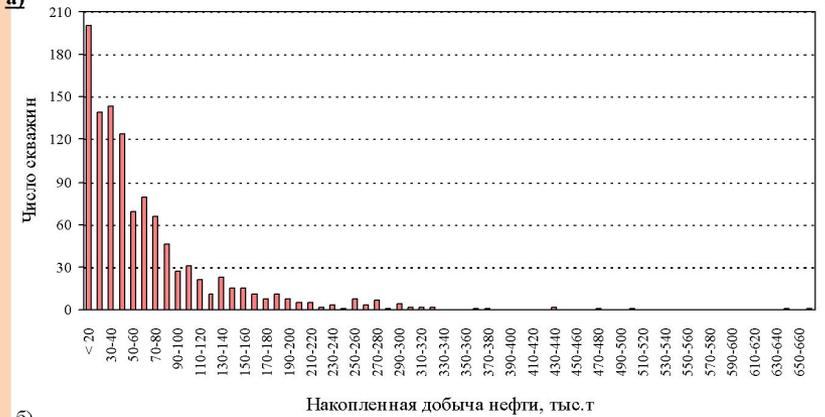


# Распределение скважин по дебиту нефти и накопленной добыче нефти в пределах пермско-каменноугольной залежи ВВН Усинского нефтяного месторождения (Тимано-Печорская НГП)

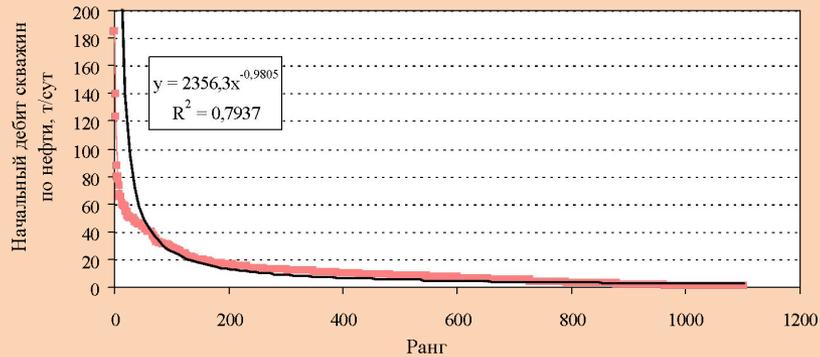
а)



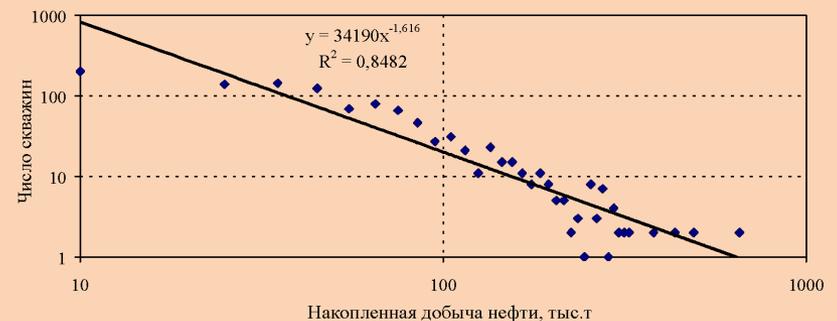
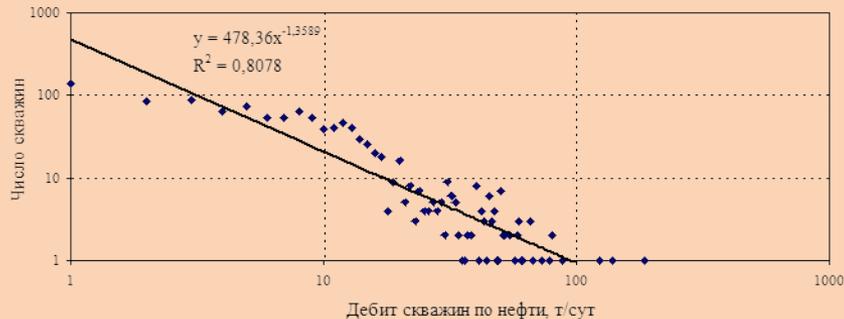
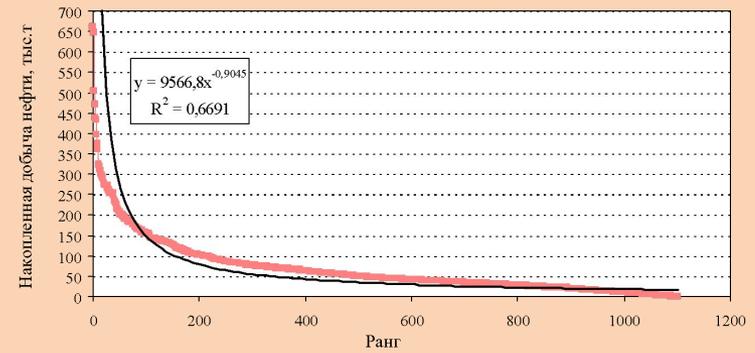
а)



б)



б)



**ИЗВЛЕКАЕМЫЕ ЗАПАСЫ НЕФТИ В ТЫС. ТОНН (МВО)  
В ИЗВЕСТНЯКЕ БУДА В РАСЧЕТЕ НА ОДНУ СКВАЖИНУ В ОКРУГАХ  
WILSON, GONZALEZ И FAYETTE ШТАТА ТЕХАС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ  
СООТНОШЕНИЯ МАТРИЧНОЙ И ТРЕЩИННОЙ ПОРИСТОСТИ**

Пористость по каротажу ( $\phi$ )

Возрастающая  
трещинная пористость  
(не видимая для каротажных  
приборов)

	2%	3%	4%	5%	6%	7%
0%	119.4	179.1	238.8	298.5	358.2	417.9
1%	179.1	238.8	298.5	358.2	417.9	477.6
2%	238.8	298.5	358.2	417.9	477.6	537.3
3%	298.5	358.2	417.9	477.6	537.3	597.0
4%	358.2	417.9	477.6	537.3	597.0	656.6
5%	417.9	477.6	537.3	597.0	656.6	716.3

При подсчете запасов были приняты:

Плотность сетки скважин 160 акров

Средняя толщина пласта 90' (H)

Водонасыщенность - 30% ( $S_w$ )

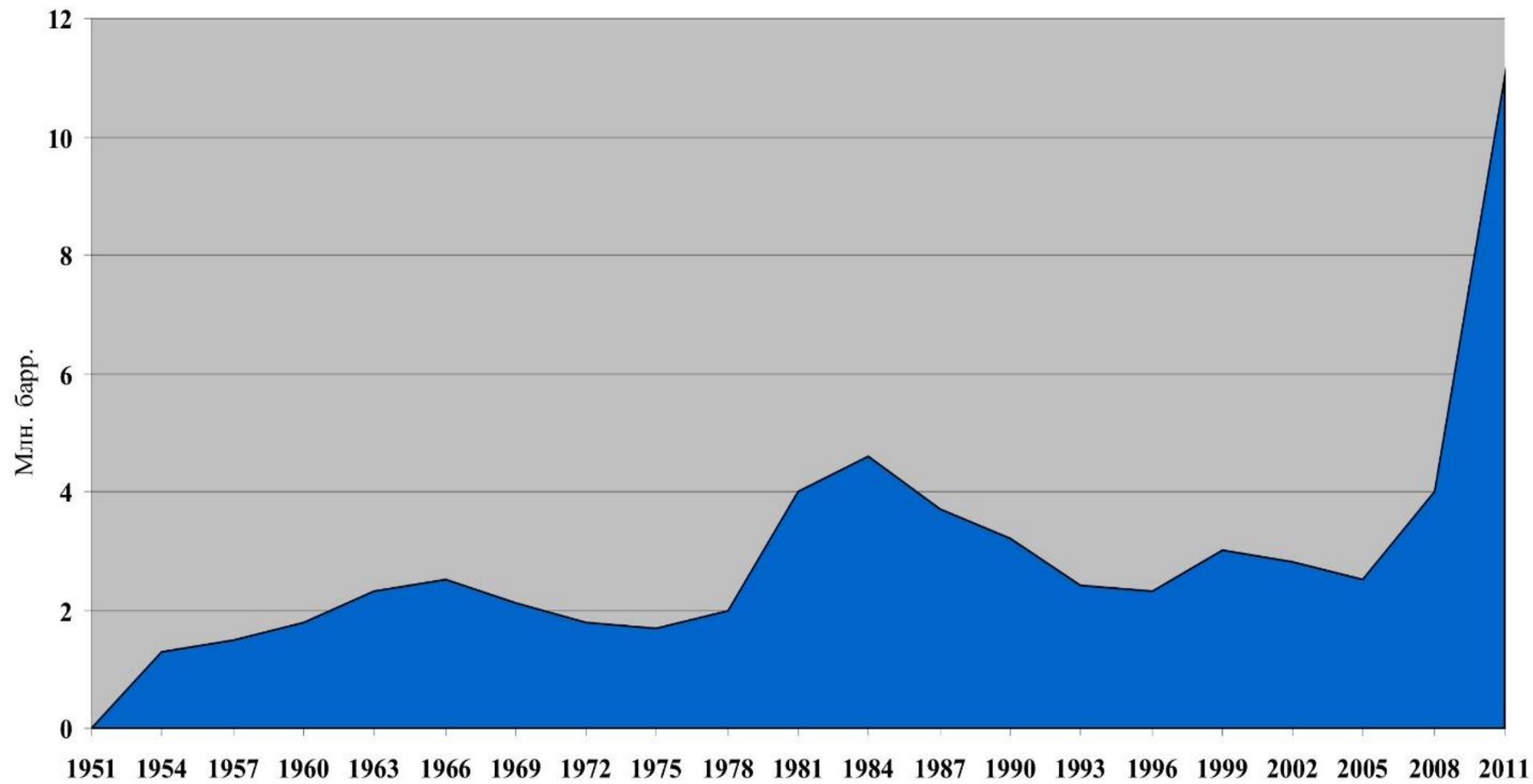
Объёмный коэффициент нефти - 1.31  
( $V_o$ )

Коэффициент нефтеотдачи - 10%  
(режим растворенного газа)

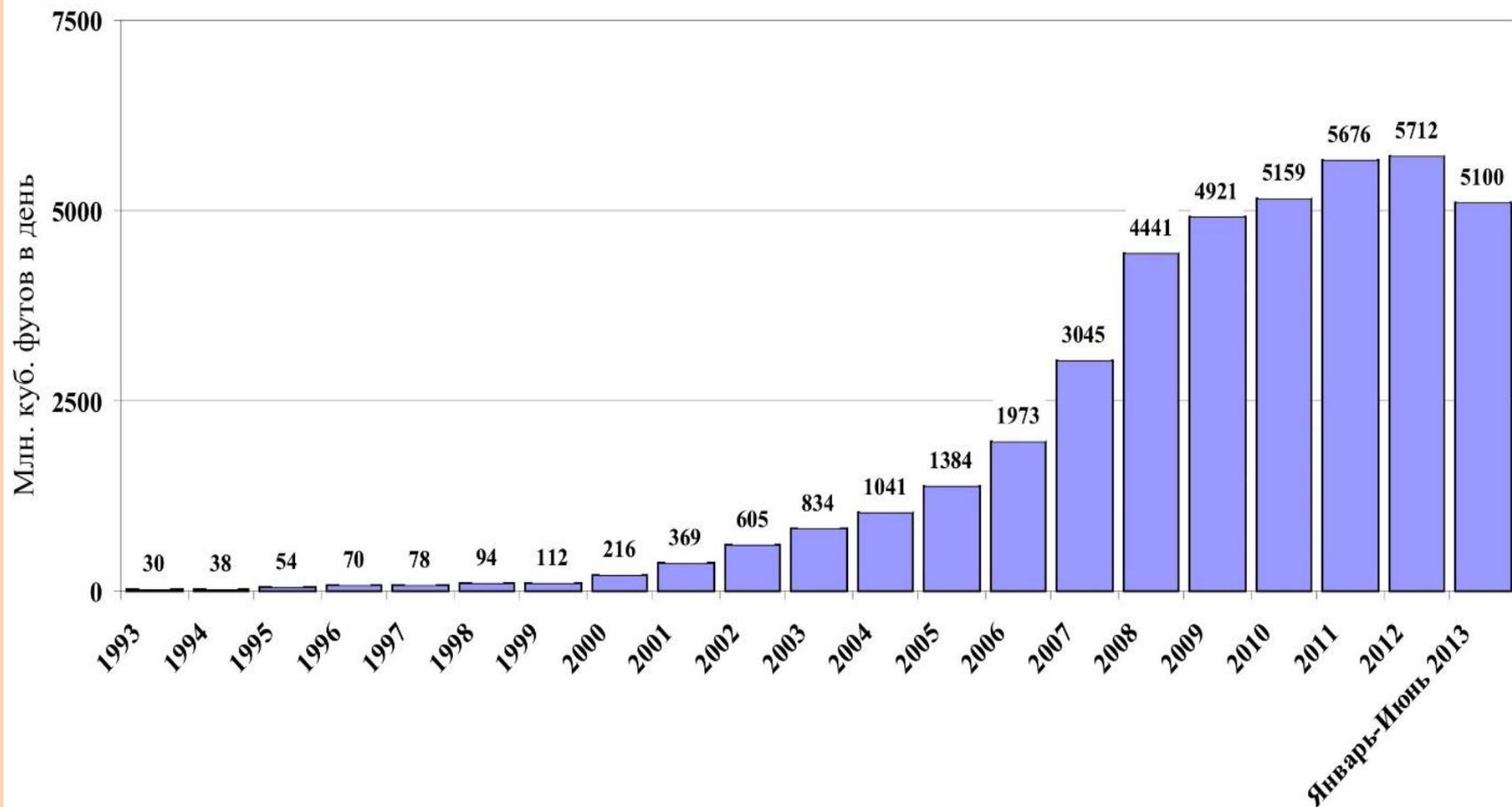
**Примечание:** Карта пористости основана на плотности породы 2.71 г/см<sup>3</sup>; поэтому, необходимо добавлять 1,5 % пористости к отображаемым значениям для корректировки по плотности породы, т.е. 2,5%, 3,5% увеличиваются до 4% и 5%.

## **Экономические показатели в проектах США сильно варьируют в зависимости от того, где размещались скважины в «сердцевине» плеча или вне его.**

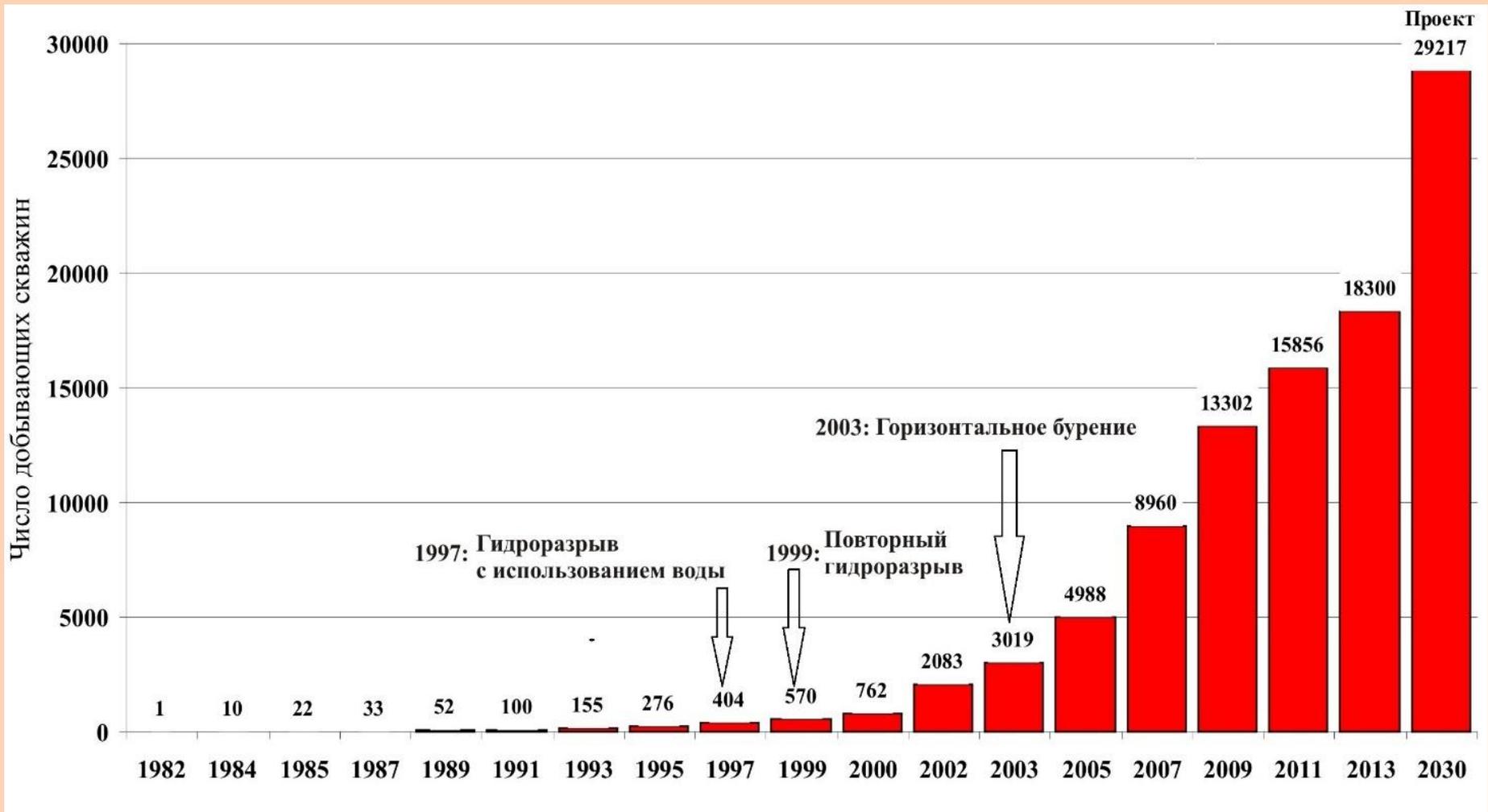
Определение «сердцевины» или «не сердцевины» после бурения уже первых скважин довольно легко диагностируется поскольку существует огромная база доступных данных. Определение «сердцевины» зависит от картирования оптимальной сходимости различных технических показателей, например, минералогии, глубины, мощности, пористости, проницаемости, трещиноватости, ТОС/R0, S1 «целевых» сланцев»



Добыча нефти из формации Ваккен в Северной Дакоте с 1951 по 2011 г.  
(DMR, 2011, с изменениями)



**Показатели добычи газа в сутки по годам из  
сланцевой формации Barnett  
на месторождении Newark East (EIA, 2013, с  
дополнениями)**



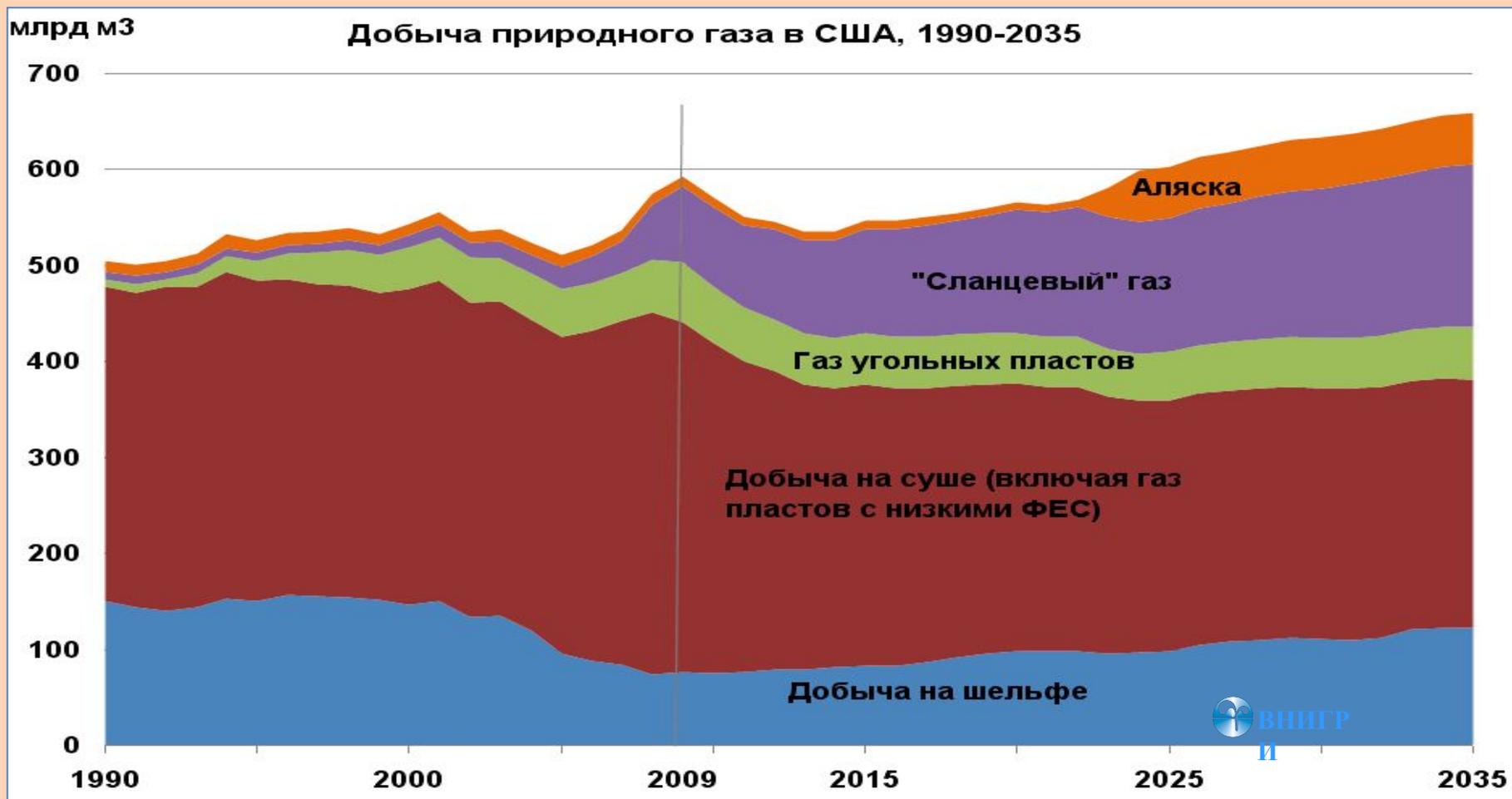
**График количества введенных скважин по годам в сланцевой формации Barnett (EIA, 2013, с дополнениями)**

По статистике в формации Bakken в среднем в первый год эксплуатации из скважины извлекается 19% запасов (при коэффициенте извлечения нефти 10%), за пять лет — 46%, за десять лет — 64%.

Извлекаемые запасы нефти, приходящиеся на одну скважину как в формации Bakken, так и в других сланцевых формациях США, определяются прежде всего потенциалом и глубиной залегания продуктивной толщи.

Максимальные значения (до 1 млн барр.) характерны для глубин свыше 3500 м. Для меньших глубин (750–2500 м) запасы на скважину изменяются от 50 тыс. барр. до 300 тыс. барр.

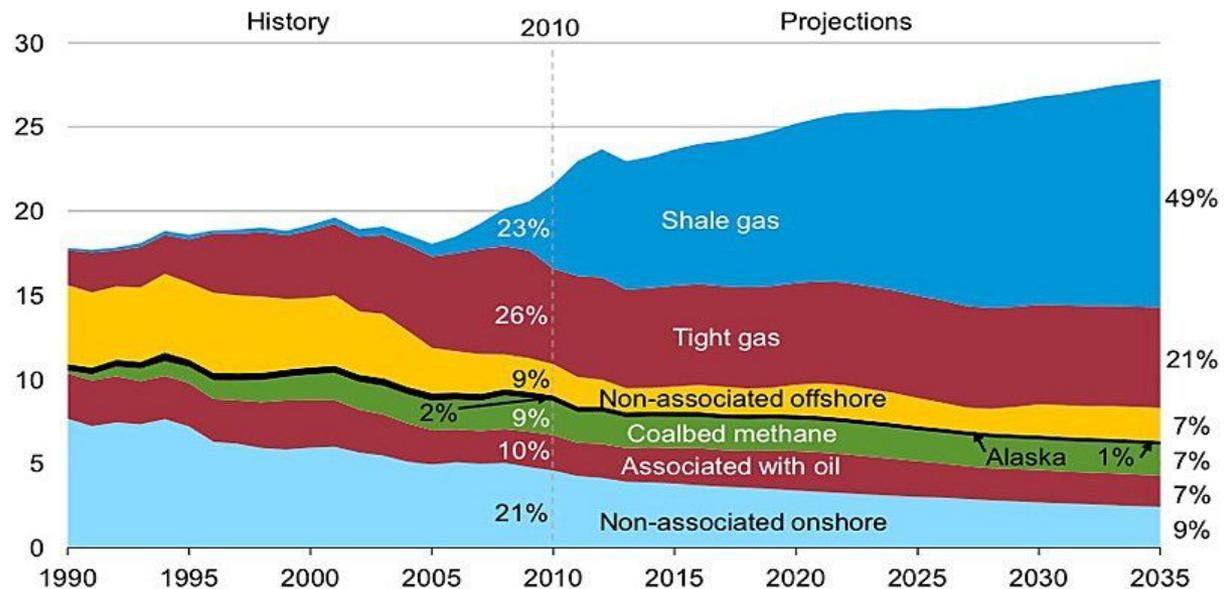
Прогноз добычи газа в США в 2008г. (планировалось резкое снижение добычи газа из пластов с низкими ФЕС, и за пределами 2020г. предполагался ввод газовых месторождений Аляски).



В 2011 году прогноз стал намного оптимистичнее. При фактической добыче около 20 млрд. куб. фут. в день запланирован рост до 27-28 млрд. куб. фут. в день

## Shale gas offsets declines in other U.S. natural gas production sources

U.S. dry gas production  
trillion cubic feet per year



Source: EIA, Annual Energy Outlook 2012 Early Release

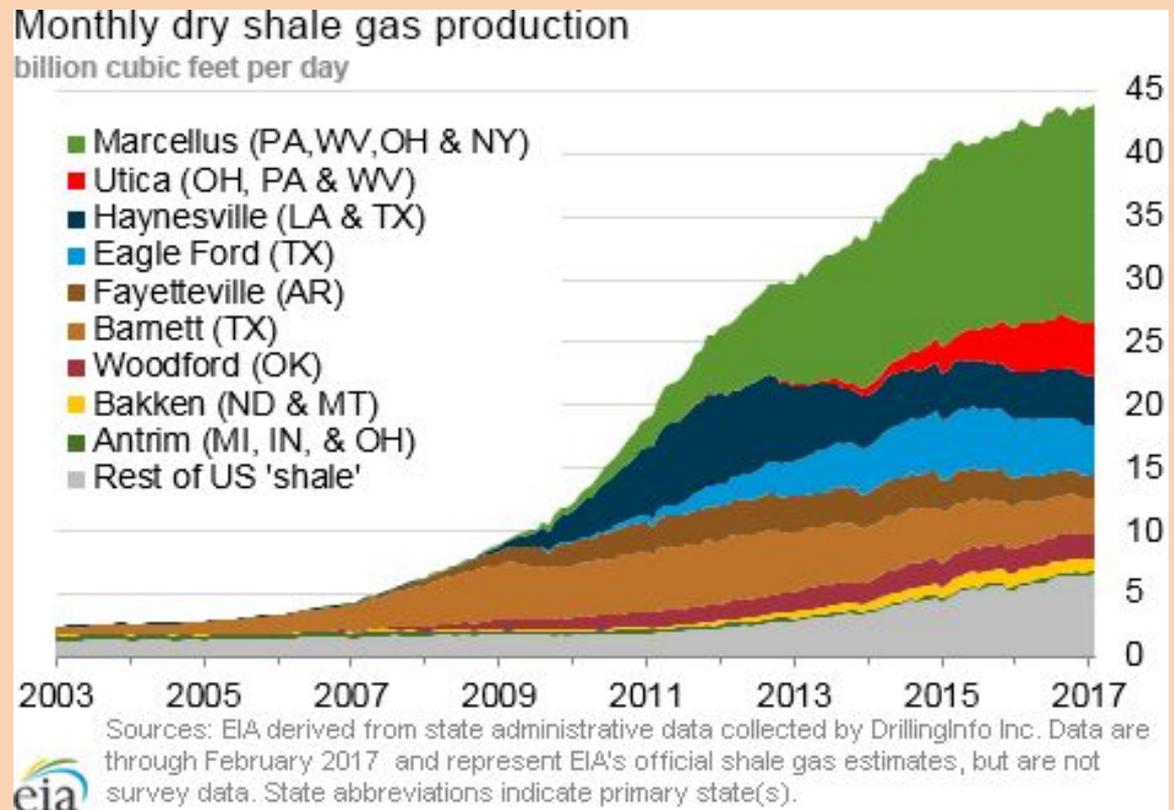


Howard Gruenspecht  
AEO2012, January 23, 2012

12

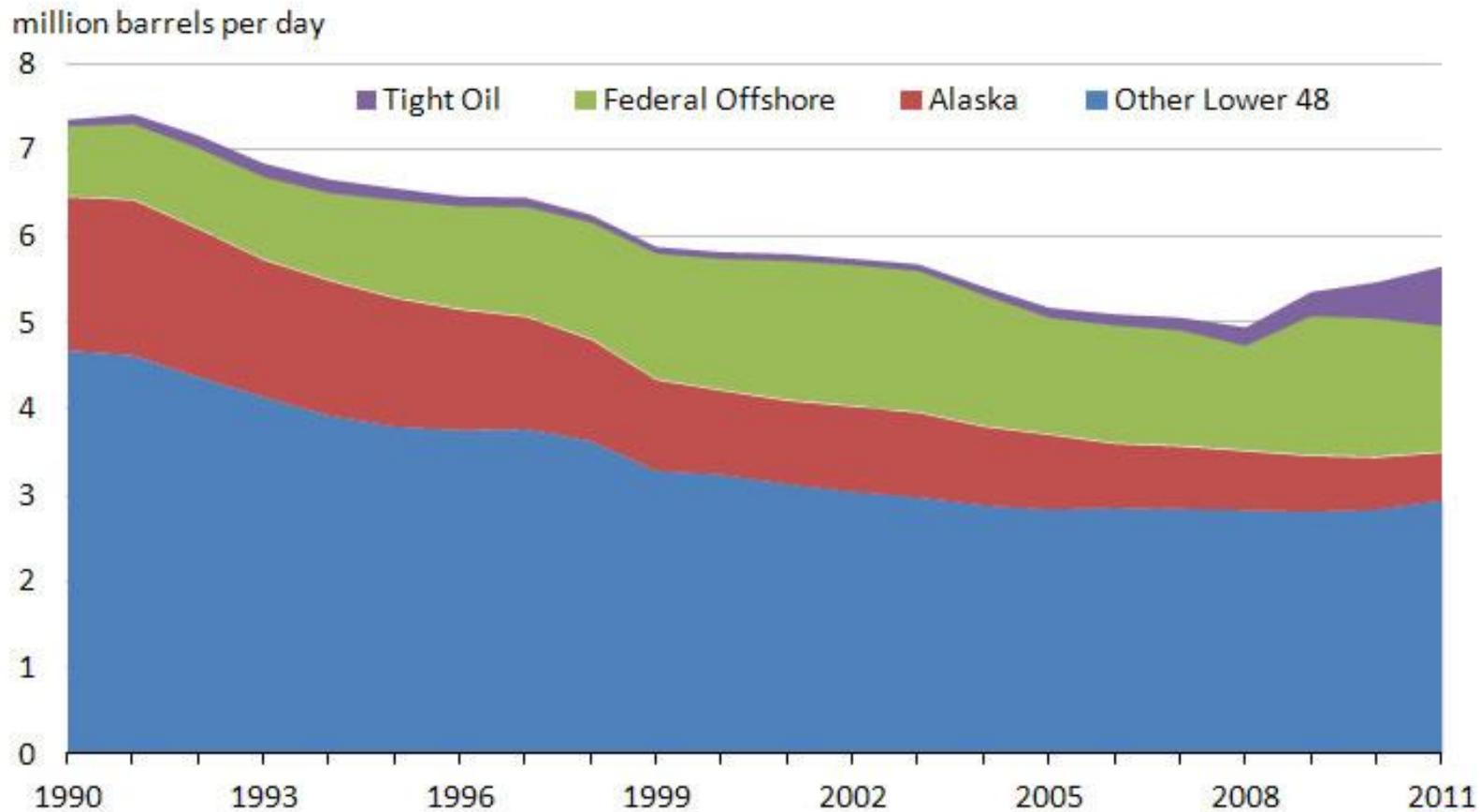
# *Фактическая добыча сланцевого газа в США намного опережает не только «прогноз Газпрома», но и собственный прогноз EIA (2008, 2010 и 2012гг.)*

*почти в два раза*  
Сланцевый газ из США  
будет вытеснять российский  
газ с рынка Европы.  
Доля российских поставок  
на европейский рынок  
снизится, несмотря на  
расширение возможностей  
его транспортировки в  
Европу



# Добыча нефти в США включая низкопоровые коллекторы (прогноз 2011г)

Figure 1. Annual U.S. oil production

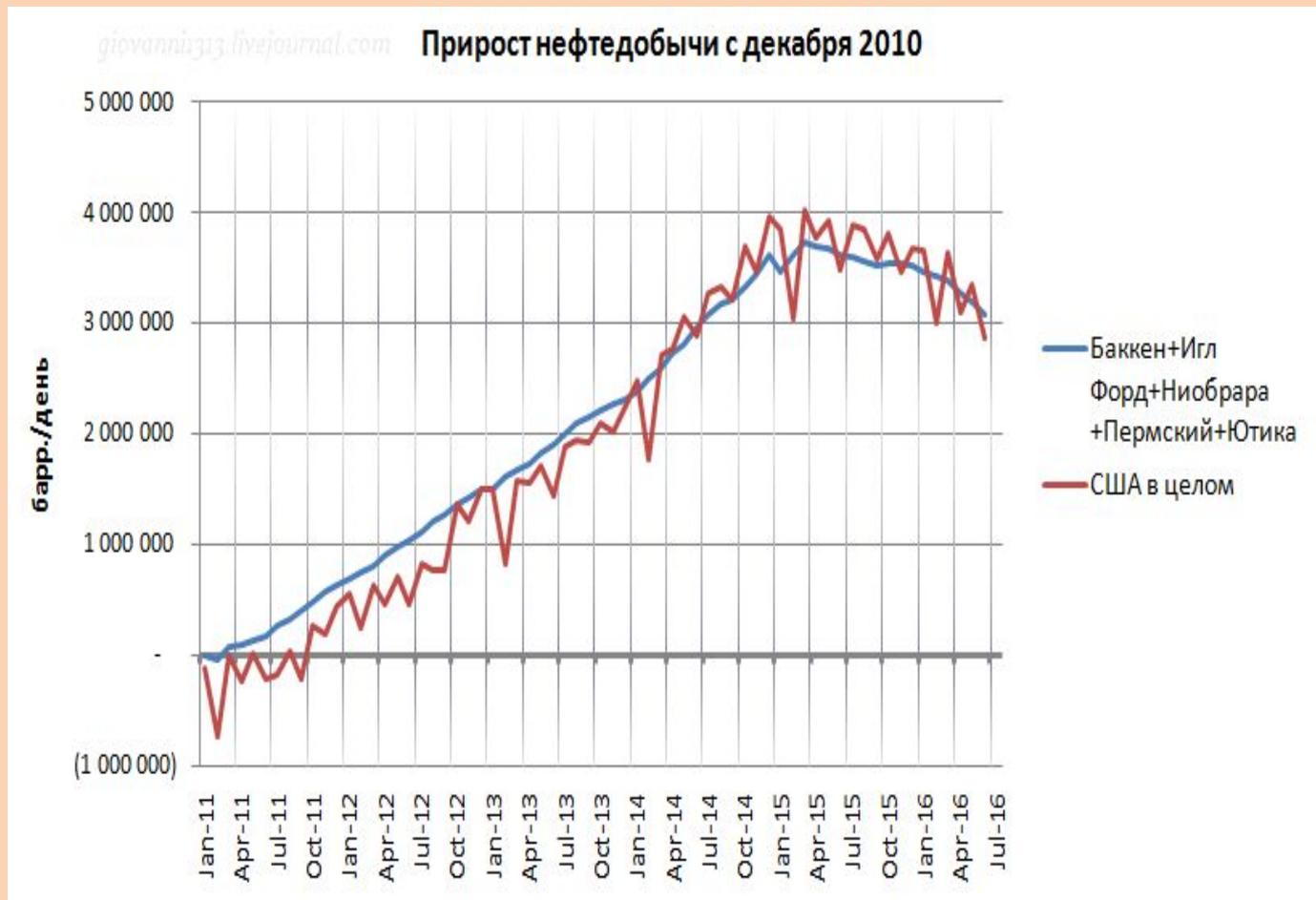


Sources: U.S. Energy Information Administration; HPDI, LLC 2011 is through November



# Добыча нефти из низкопористых и низкопроницаемых коллекторов в США

За последние 10 лет добыча нефти в США значительно возросла, главным образом за счет добычи из плотных горных пород с использованием горизонтального бурения и гидравлического разрыва пласта. EIA прогнозирует, что добыча сырой нефти в США будет продолжать расти в 2019-2020 годах,



# Снижение цены на нефть резко сократило объемы бурения скважин в США, что отразилось на величине добычи сланцевой нефти



## *За счет нефти плотных коллекторов США системно наращивают добычу нефти*

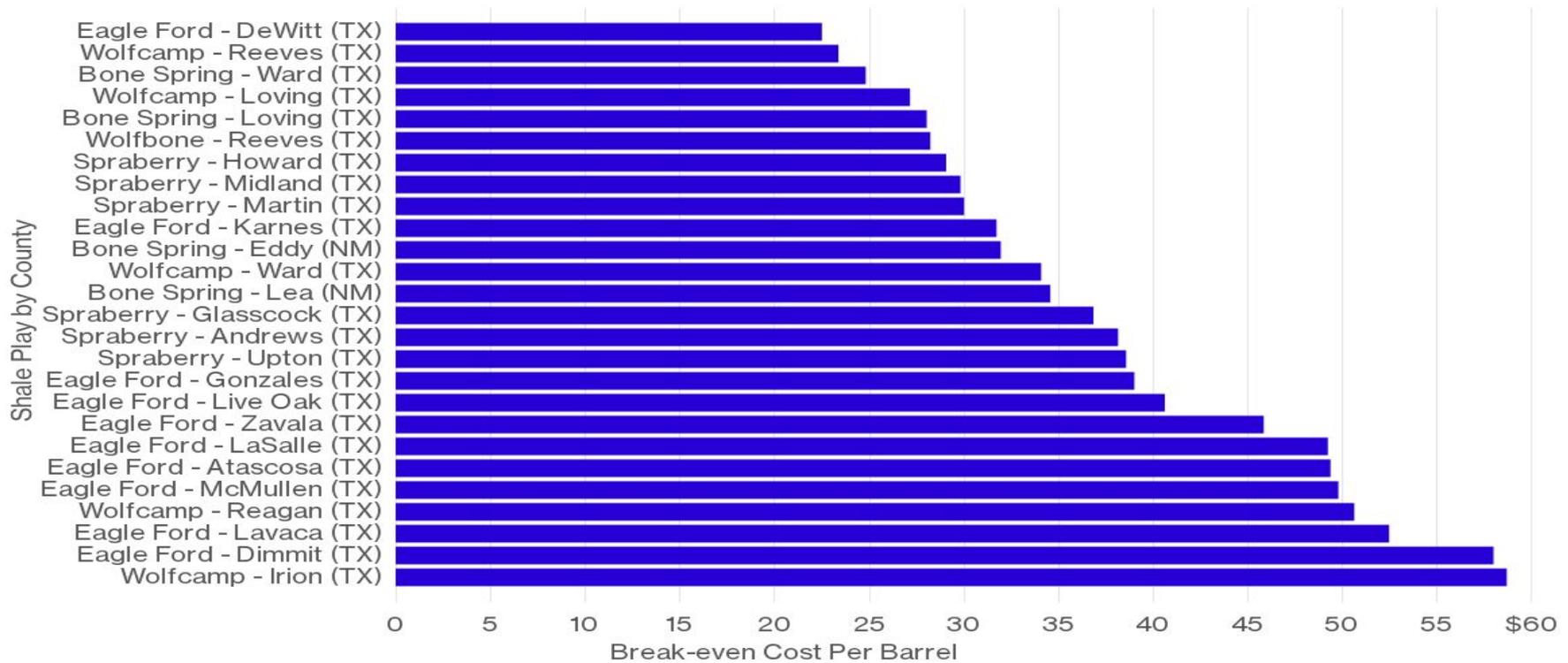
EIA сообщило, что в январе 2018г. общая добыча нефти в США побила рекорд 70-х годов, превысив отметку 10,2 млн баррелей в сутки. Суточная добыча в США в 2018 году достигла 10,7 млн баррелей против 9,3 млн баррелей годом ранее, а в 2019 году добыча выросла до 11,3 млн баррелей. Основным драйвером роста производства нефти в США EIA называет сланцевые проекты.

<http://tass.ru/ekonomika/5135823>

# Себестоимость добычи сланцевой нефти в некоторых округах штата Техас в пределах Игл Форд и Пермского бассейна

## Breaking Bad

Some parts of the Eagle Ford and Permian Basin are profitable to drill with oil at \$30 a barrel

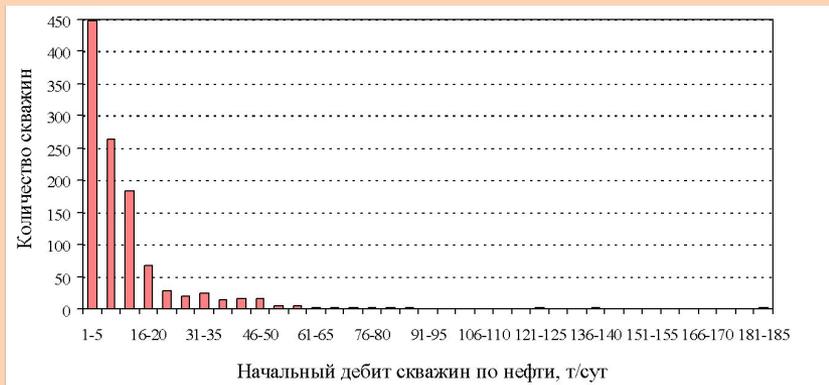


Source: Bloomberg Intelligence

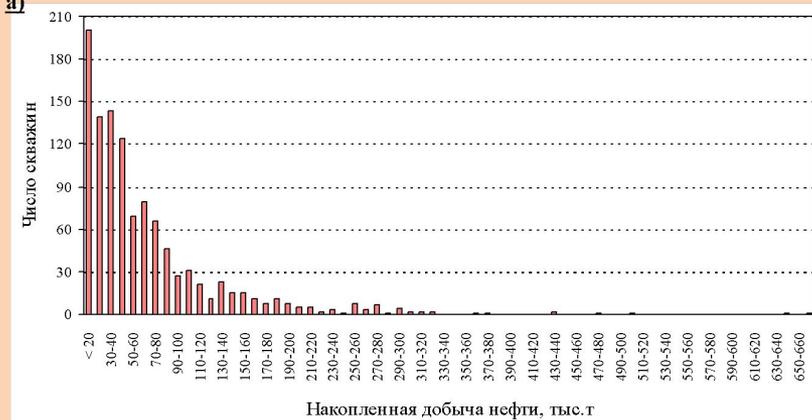
Note: Wolfcamp, Bone Spring, Wolfbone and Spraberry are shale formations in the Permian Basin

# Динами добычи в сланцевых проектах мало отличается от динамики освоения ТРИЗ ( пермско-каменноугольная залежь ВВН Усинского нефтяного месторождения (Тимано-Печорская НГП)

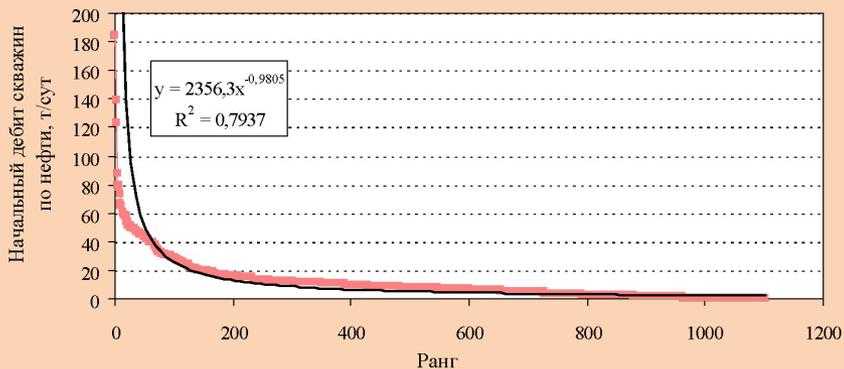
а)



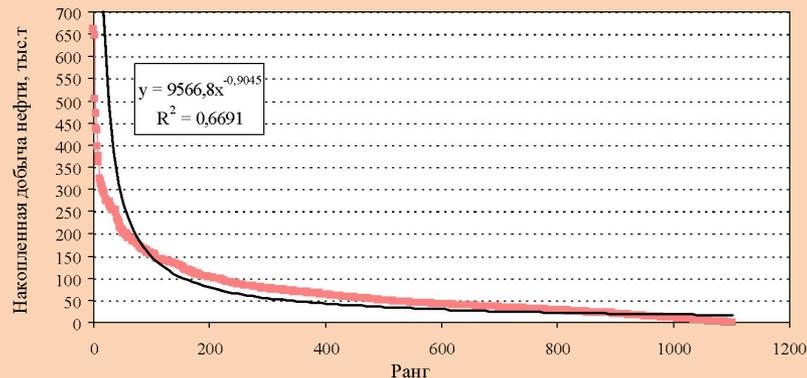
а)



б)



б)



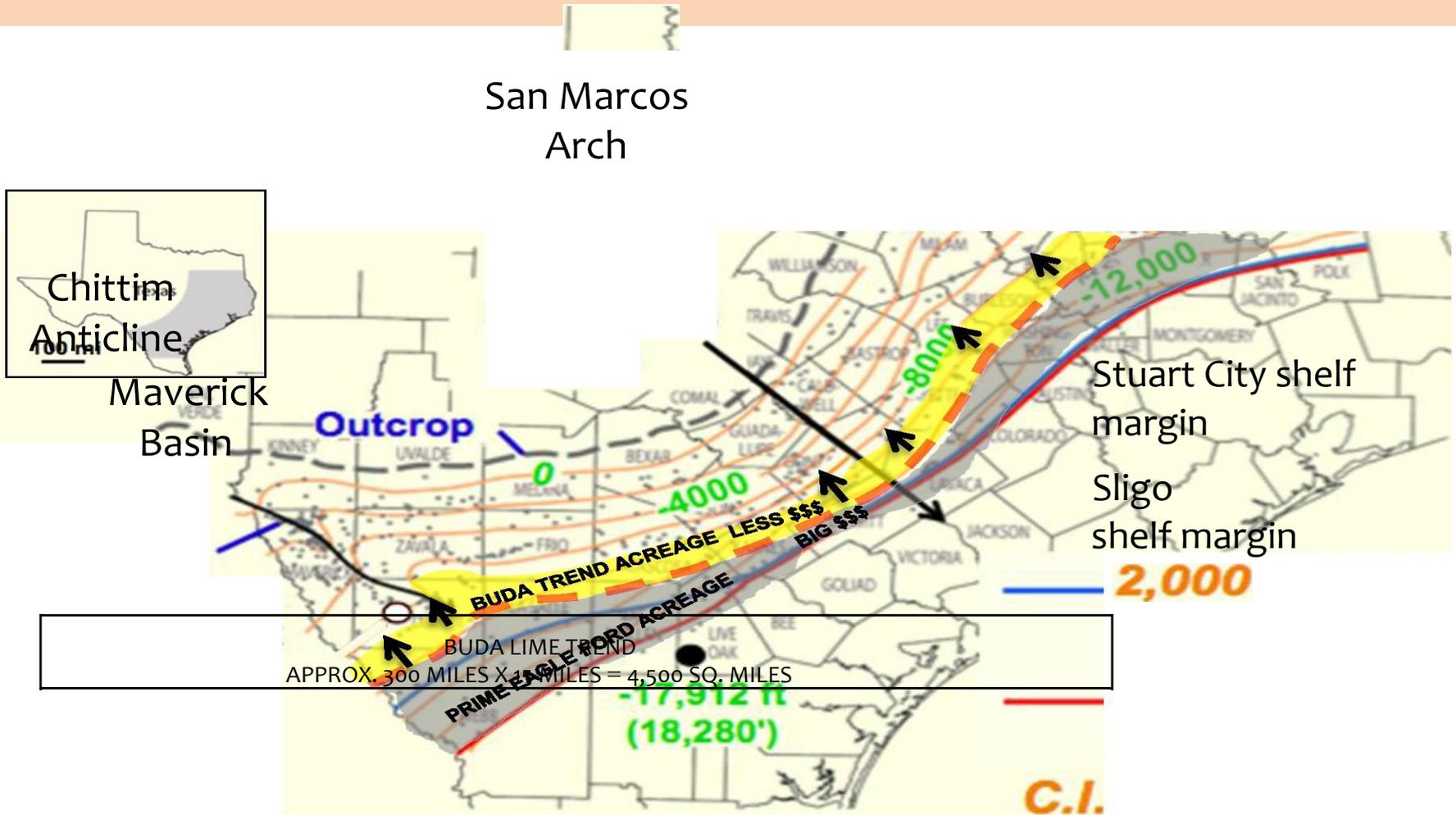
Опыт изучения месторождений нефти и газа в различных регионах мира показывает, что все породы коллекторы как традиционные (песчаники, известняки, доломиты и др.), так и нетрадиционные (сланцы, породы фундамента, угольные пласты и др.) трещиноваты и в их пределах всегда существуют локальные участки, занимающие не более 20 % площади, которые дают более половины добычи УВ. Такие участки в англоязычной литературе получили название Sweet Spots, так как они оказывают значительное влияние на экономические показатели разработки залежей нефти и газа, особенно в низкопроницаемых коллекторах и сланцевых формациях.

**Зональное (линейно-очаговое)**  
распространение Sweet Spots в традиционных коллекторах, сланцах и других пород связано с неравномерным развитием тектонической трещиноватости и зональным распространением линз песчаников, алевролитов и карбонатов. Как показывают результаты исследований на длительно разрабатываемых месторождениях одни и те же трещины могут быть флюидопроводящими и экранирующими на разных участках резервуаров и залежей, поэтому необходимо выделять не отдельные трещины, а трещинные коридоры (зоны трещиноватости).

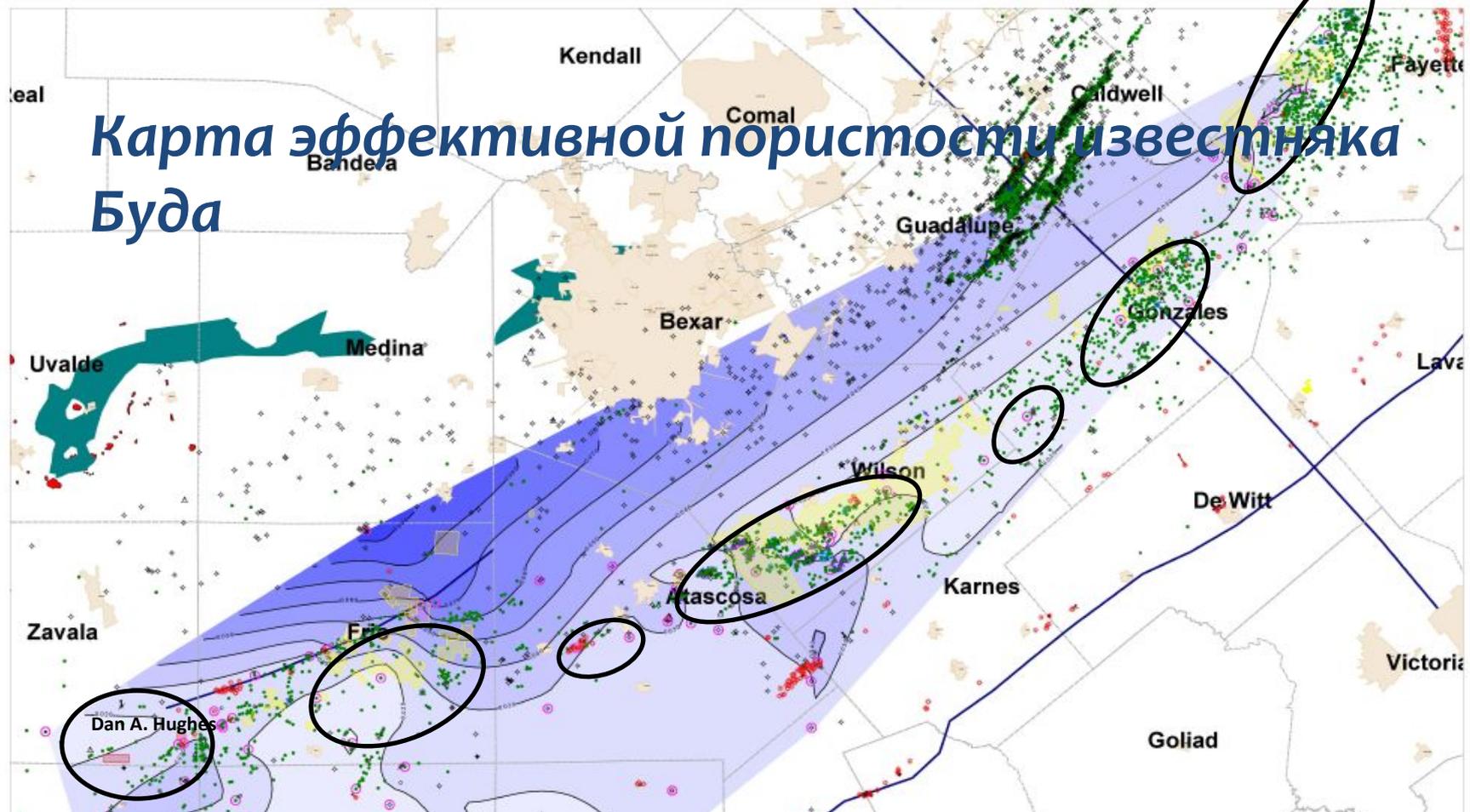
**\*Применение современных технологий интерпретации 3Д сейсморазведки, бурения горизонтальных скважин и вскрытия продуктивных пластов на депрессии (UBD) позволяет эффективно разрабатывать залежи УВ в плотных песчаниках, трещиноватых известняках, угольных пластах и сланцах со сроками окупаемости скважин до 7 месяцев при цене на нефть 100 долларов за баррель и до 1,5 лет при цене на нефть 45 долларов за баррель .**

**\*Условия формирования высокобитуминозных толщ в некоторых осадочных бассейнах США весьма схоже с условиями формирования доманикитов**

# Структурная карта и местоположение тренда продуктивных известняков Буда на юге Техаса



# Карта эффективной пористости известняка Буда



**ИЗВЛЕКАЕМЫЕ ЗАПАСЫ НЕФТИ В ТЫС. ТОНН (МВО)  
В ИЗВЕСТНЯКЕ БУДА В РАСЧЕТЕ НА ОДНУ СКВАЖИНУ В ОКРУГАХ  
WILSON, GONZALEZ И FAYETTE ШТАТА ТЕХАС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ  
СООТНОШЕНИЯ МАТРИЧНОЙ И ТРЕЩИННОЙ ПОРИСТОСТИ**

Пористость по каротажу ( $\phi$ )

Возрастающая  
трещинная пористость  
(не видимая для каротажных  
приборов)

	2%	3%	4%	5%	6%	7%
0%	119.4	179.1	238.8	298.5	358.2	417.9
1%	179.1	238.8	298.5	358.2	417.9	477.6
2%	238.8	298.5	358.2	417.9	477.6	537.3
3%	298.5	358.2	417.9	477.6	537.3	597.0
4%	358.2	417.9	477.6	537.3	597.0	656.6
5%	417.9	477.6	537.3	597.0	656.6	716.3

При подсчете запасов были приняты:

Плотность сетки скважин 160 акров

Средняя толщина пласта 90' (H)

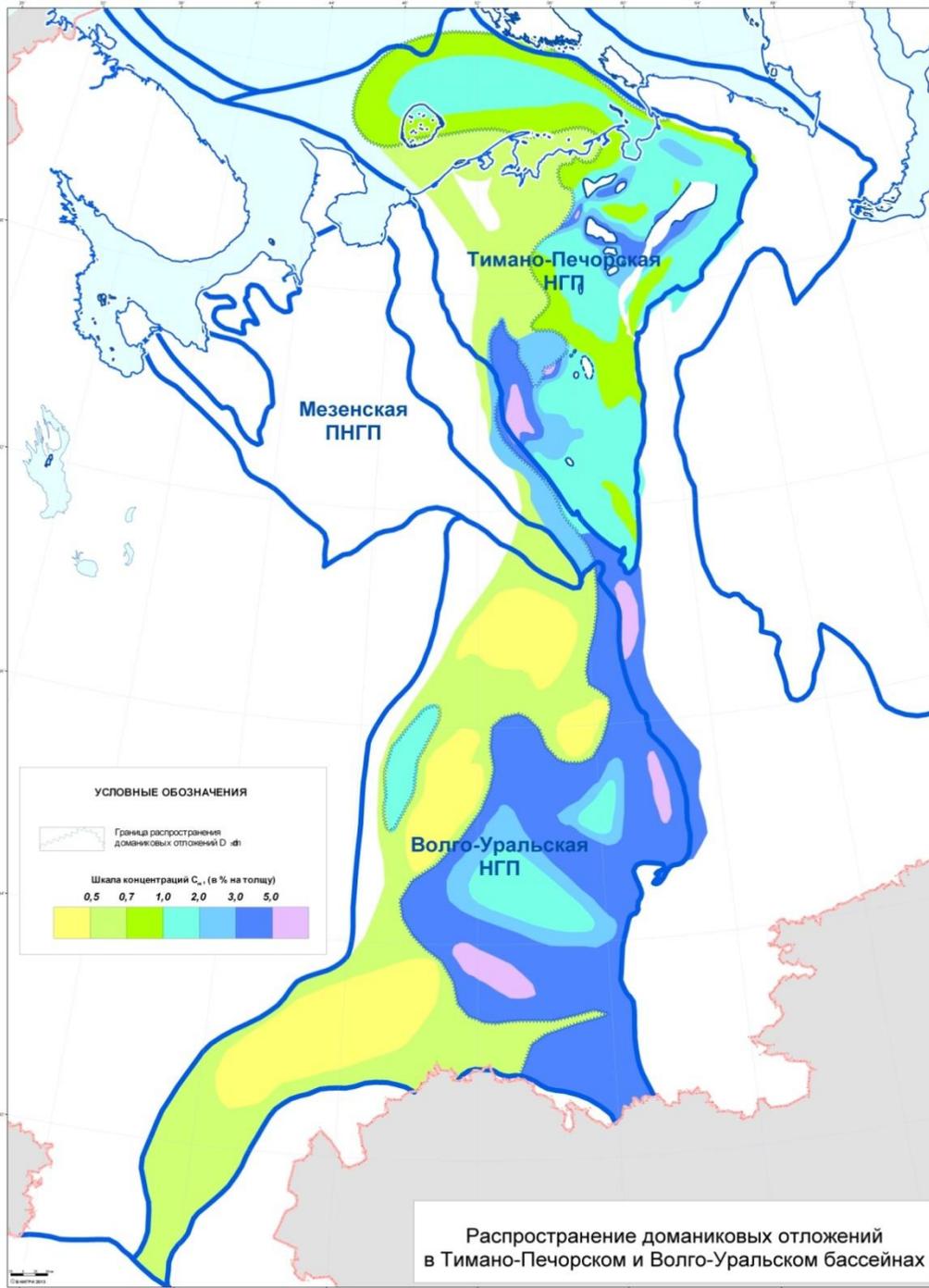
Водонасыщенность - 30% ( $S_w$ )

Объёмный коэффициент нефти - 1.31  
( $V_o$ )

Коэффициент нефтеотдачи - 10%  
(режим растворенного газа)

**Примечание:** Карта пористости основана на плотности породы 2.71 г/см<sup>3</sup>; поэтому, необходимо добавлять 1,5 % пористости к отображаемым значениям для корректировки по плотности породы, т.е. 2,5%, 3,5% увеличиваются до 4% и 5%.

*Распространение  
доманиковых (сланцевых)  
отложений  
в восточной части  
Восточно-Европейской  
платформы*

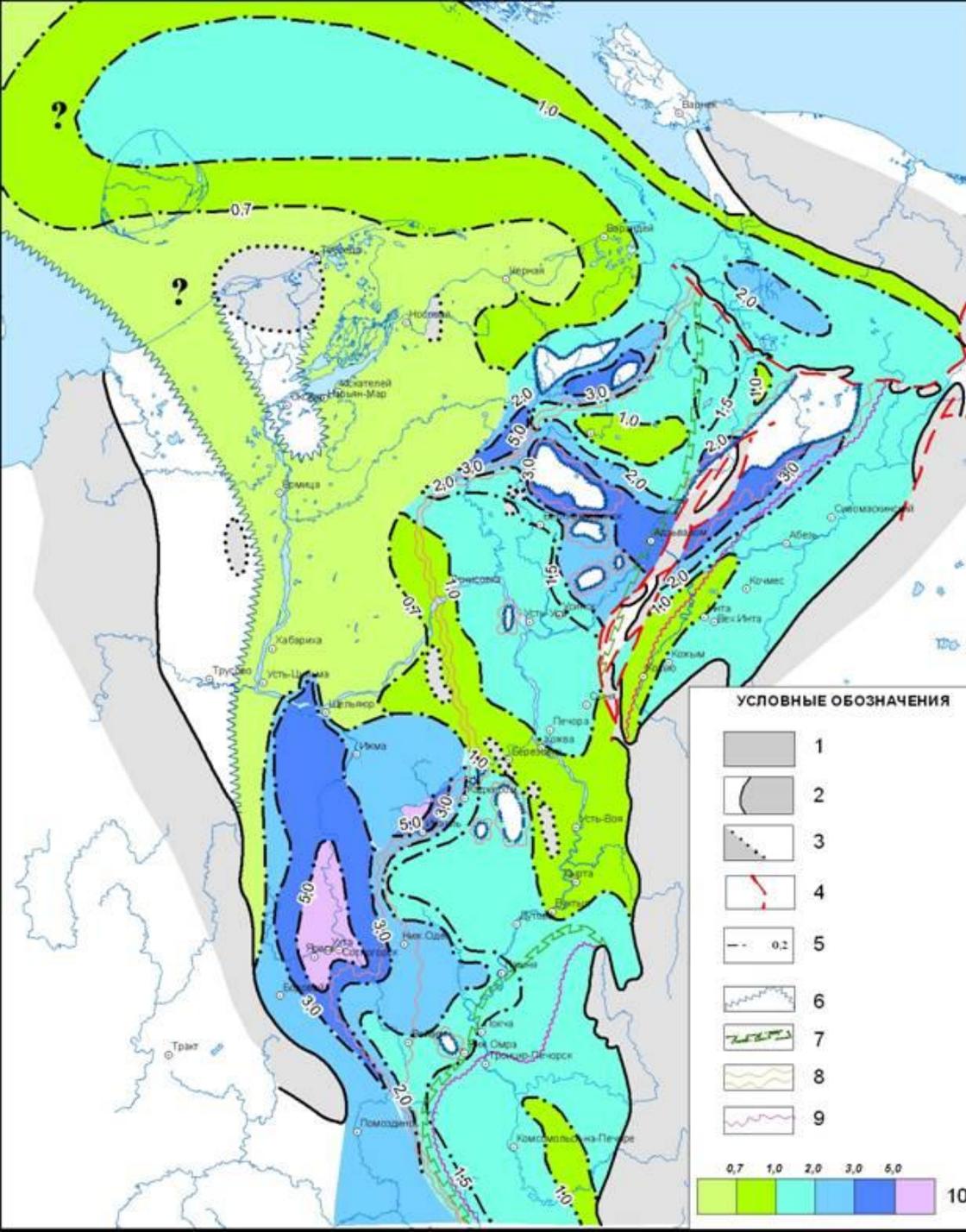


Фациальный состав доманика и доманикоидов крайне разнообразен.

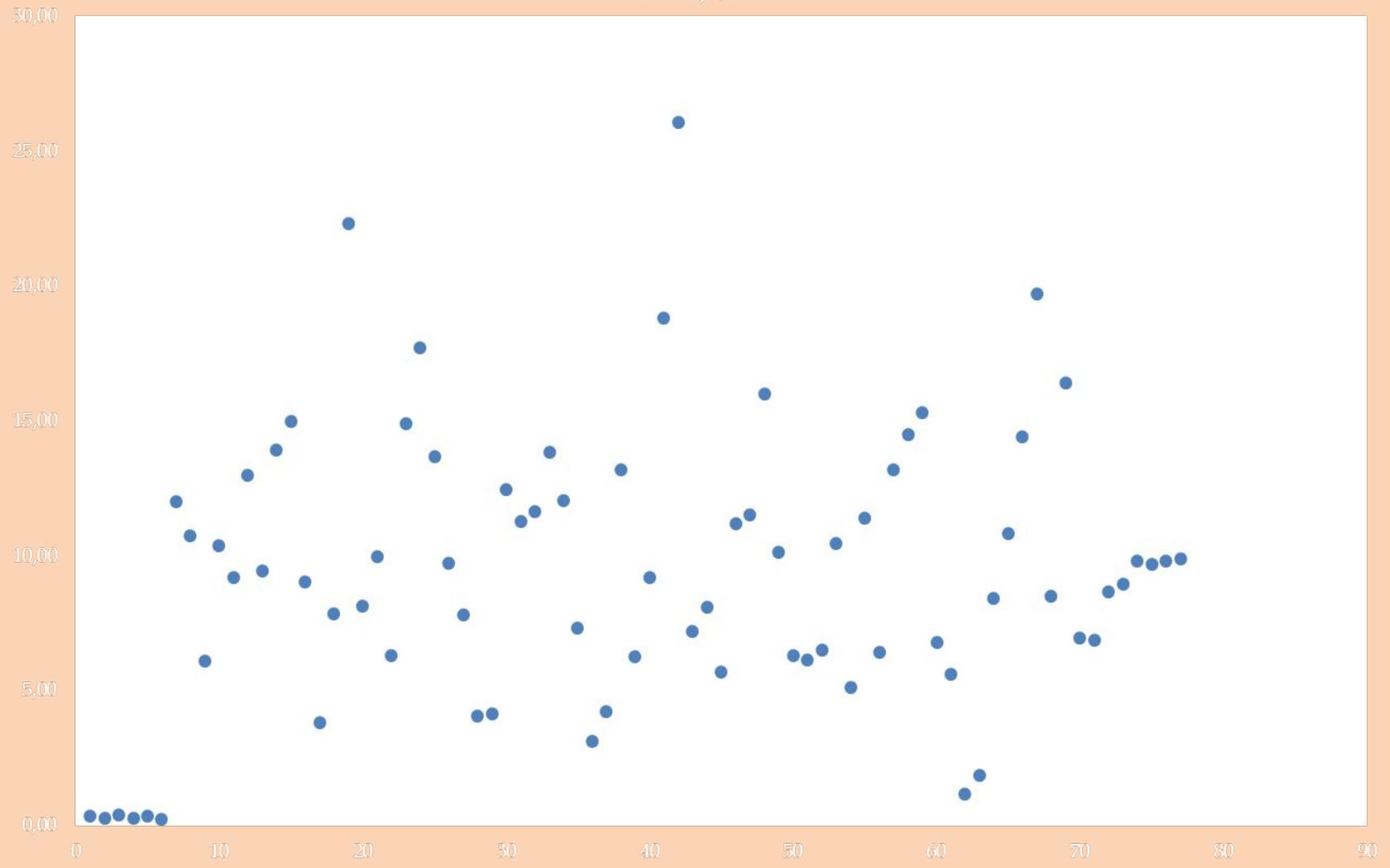
Распределение ОВ крайне неравномерно.

В Тимано-Печорской провинции доманиковый (сланцевый) комплекс который содержит наряду с традиционными и непрерывные скопления УВ, масштабы которых еще предстоит оценить. Также как и применимость новых технологий освоения.

1 – области отсутствия отложений; 2 – обобщённый контур современного размыва отложений; 3 – граница древнего размыва отложений; 4 – дизъюнктивные нарушения; 5 – линии равных концентраций СНК, ( в % на толщ); 6-9 – фронтальные границы замещения депрессионных отложений рифогенными и банковыми: 6 – D3sm, 7 – D3fm1(zd), 8 – D3src, D3uch, в общем D3f2, 9 – D3fm2; 10 – шкала концентраций СНК, (в % на толщ)

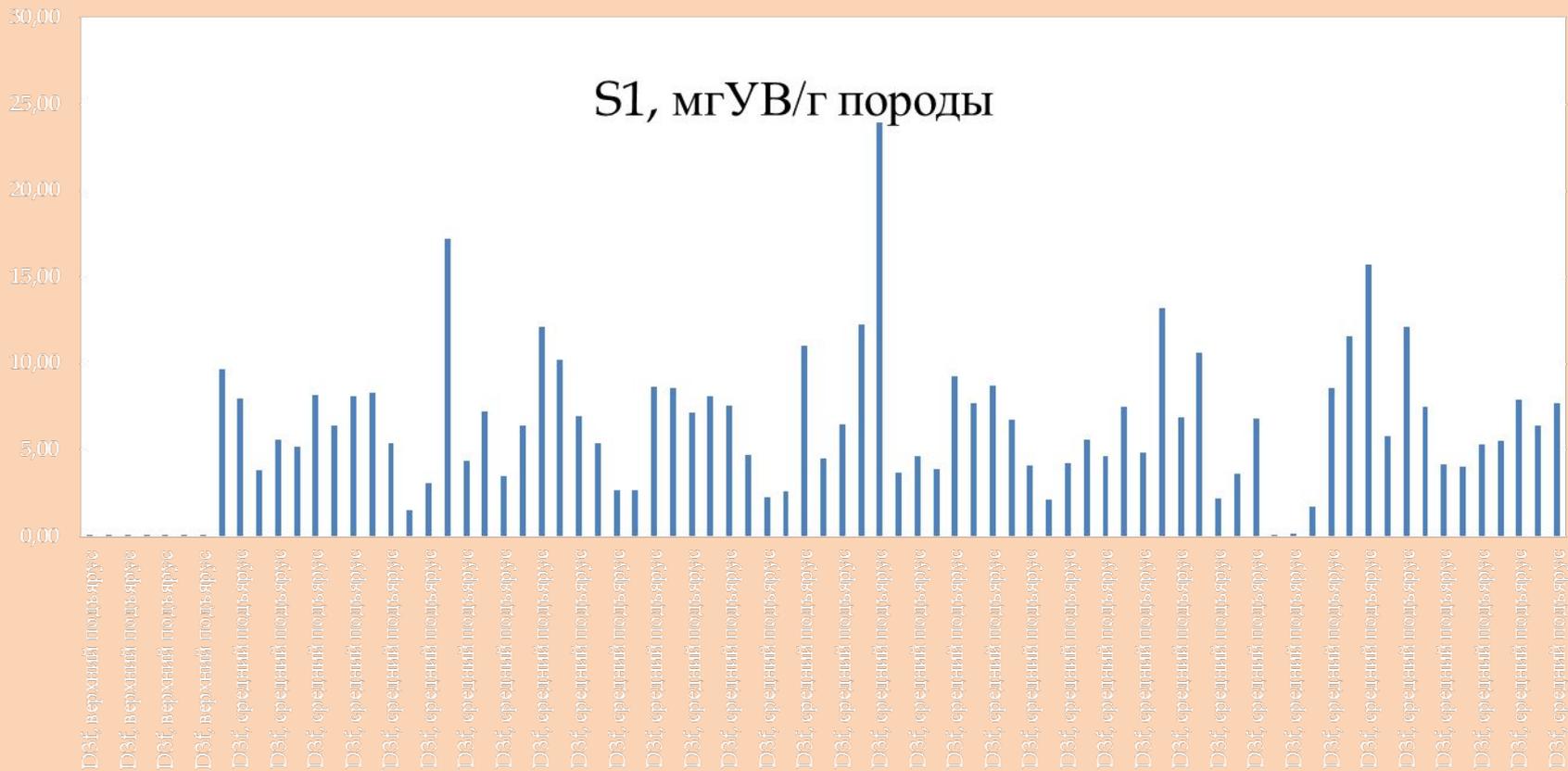


TOC, %



метод экстракции	№ обр.	1	4	5	6	7	8	9	10
Холодная в кусках,%		0,049	0,585	0,248	0,085	0,053	0,090	0,046	0,016
«Стандартная» из дроблёной породы		0,270	0,781	0,362	1,146	0,320	0,300	0,230	0,152
Отношение холодной/ «стандартной»		0,18	0,75	0,69	0,07	0,17	0,30	0,20	0,11
Доля «холодного» битумоида, %		15,36	42,83	40,66	6,90	14,21	23,08	16,67	9,64

Сравнение данных хлороформной экстракции битумоида из одной пробы – холодной в кусках и «стандартной» из дроблёной породы (паралельно);  $D_{3dm} - D_{2sr}$ ;

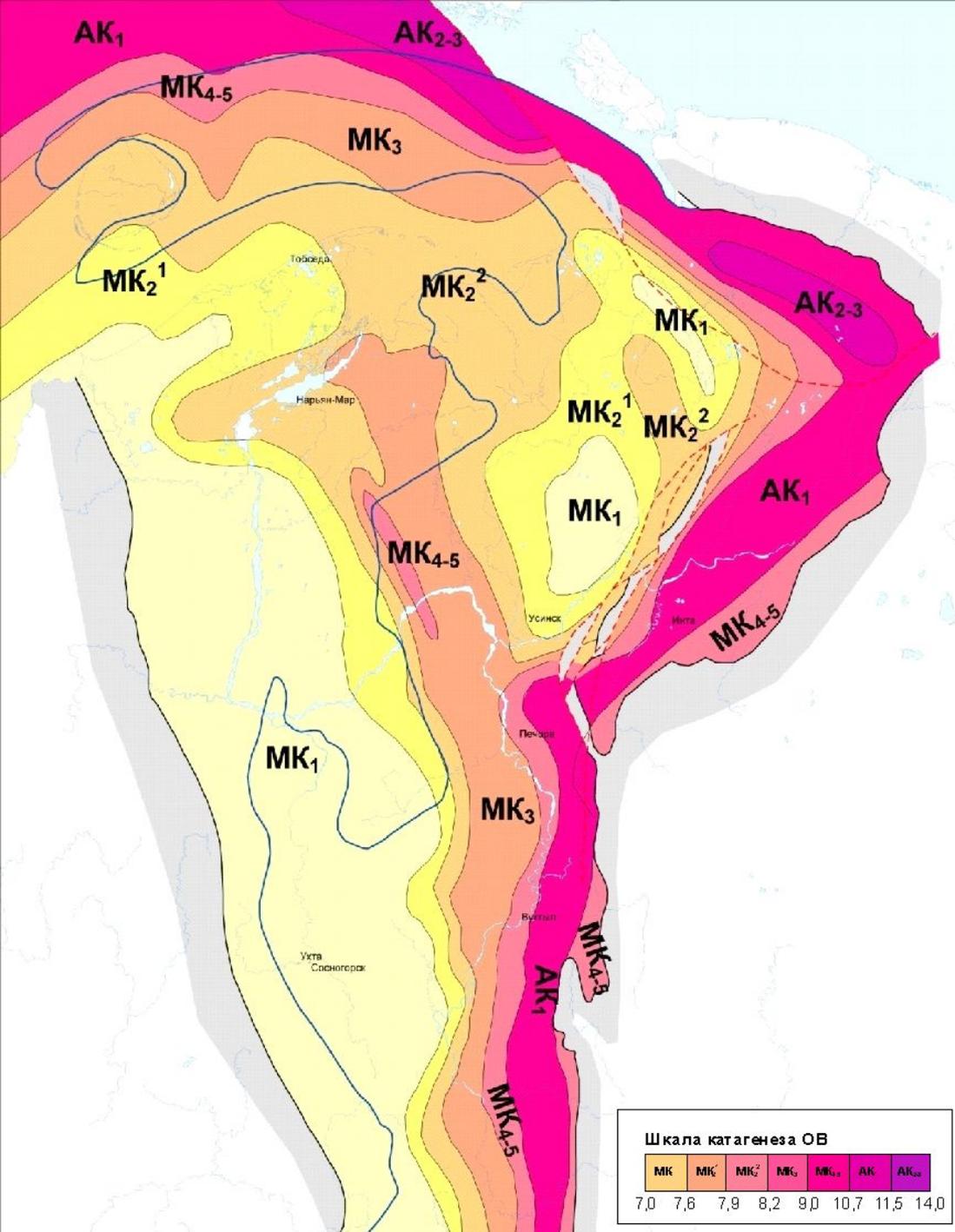


Важно оценить количество нефтяных углеводородов способных к миграции (вытеснению) в коллекторские горизонты под действием тех или иных сил (механическое воздействие, растворение и т.п.).

Подобные оценки необходимы как для оценки потенциала , так и для моделирования процессов извлечения при освоении промышленных скоплений углеводородов из высокобитуминозных и керогенонасыщенных отложений не обладающих значимыми коллекторскими свойствами.

Для ОВ пород доманиковой свиты характерно наличие паравтохтонных битумоидов — миграционной части синбитумоида, оторвавшейся от исходного ОВ, но не покинувшей пределы нефтематеринской породы [Вассоевич, 1968].

*Схема катагенеза  
отложений доманиковского  
горизонта  
(по Баженовой Т.К.)*



Объем ресурсов, доманикоидной формации ТПП, оцененной по методу геологических аналогий:

Нефти – 3,4 млрд.т

Газа – 0,25 трлн.м<sup>3</sup>

Оценка масштабов эмиграции углеводородов из доманикоидных отложений D<sub>3</sub>dm-C1t варьирует:

Жидких – 41-120 млрд.т

Газообразных – 11- 40 трлн.м<sup>3</sup>

С учетом аккумуляции УВ непосредственно в толще доманикоидов на уровне 10% оценка потенциала УВ составит от 5 до 16 млрд.т у.т. Плотность ресурсов по зоне развития доманикоидов - 25–80 тыс.т/км<sup>2</sup>.

4-Верхнегрубешорская

15-Мишваньская

1-Южно-Ошская

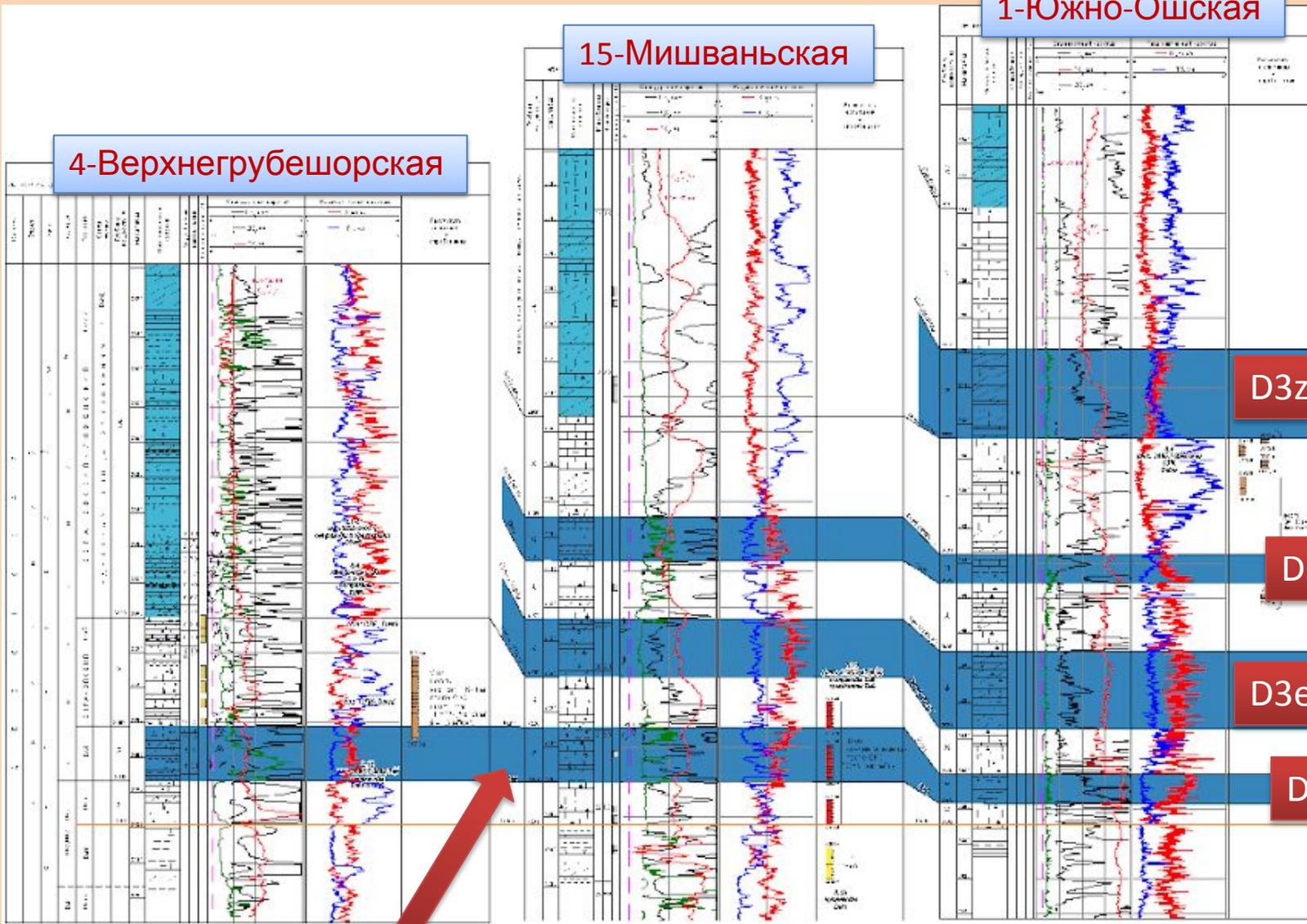
D3zd

D3vg

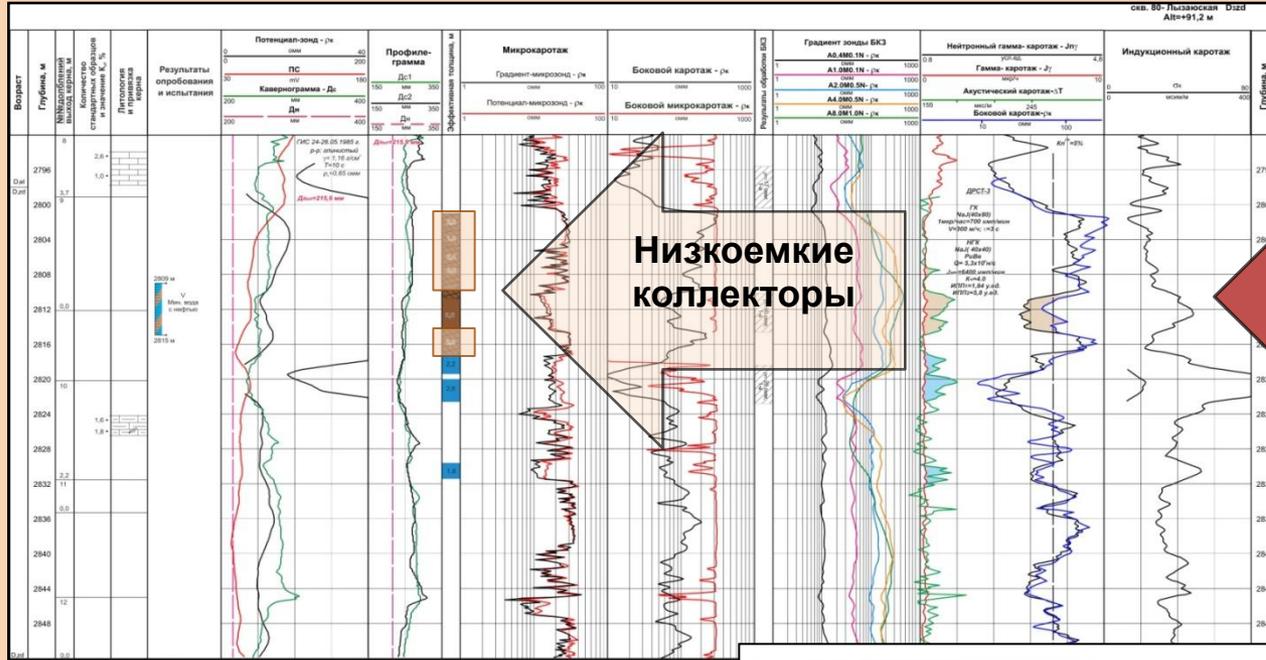
D3ev-lv

D3vt

Коллекторские толщи



# Выделяемые коллектора и их низкопоровая часть встречается как в зонах рифогенного разреза, так и в зонах развития сланцевого доманика

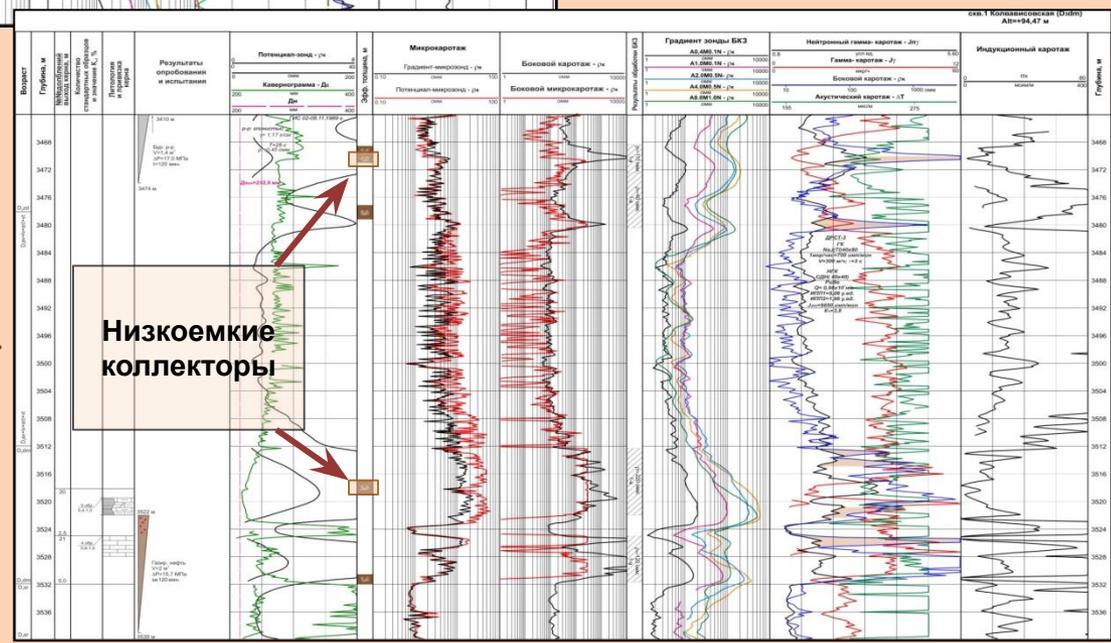


**Схема выделения низкоемких коллекторов в рифогенных верхнедевонских отложениях**

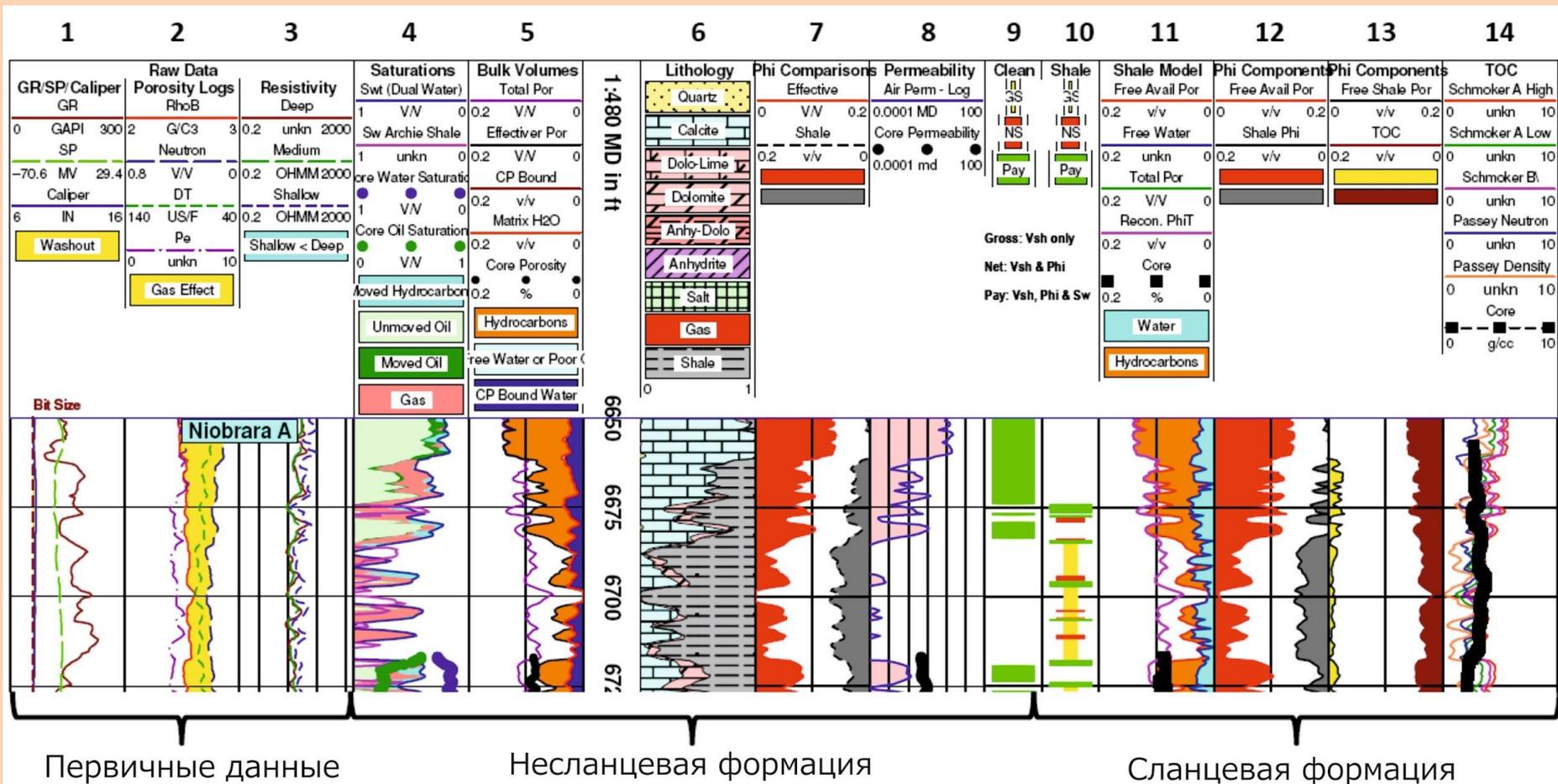
**св. 80-Лызаюская**

**Схема выделения низкоемких коллекторов в доманикоидных верхнедевонских отложениях**

**св. 1-Колвавировская**



# Петрофизического моделирования нетрадиционного резервуара



1 - ГИС

2 - пористость

3 - сопротивление

4 - насыщенности

5 - общие объемы

6 - литология

7 - сопоставление пористости

8 - проницаемость

9 - трещиноватость (с УВ)

10 - УВ

11 - общий объем

12 и 13 пористости

14 - ТОС

Последовательное выделение в наиболее продуктивных зонах нефтенакопления коллекторов и полукolleкторов и оценка возможностей проницаемости позволяет выделить первоочередные объекты для тестирования в сланцевых толщах доманика ТПП

*Благодарю за внимание!!!*

# *Вопросы к защите лабораторных работ по “Подсчету запасов и оценке ресурсов нефти и газа”*

1. Этапы и стадии геологоразведочного процесса
2. Порядок и последовательность работ и основные документы, составляемые при подсчете запасов
3. Методы подсчета запасов нефти и газа.
4. Сущность объемного метода подсчета запасов нефти и газа.
5. Формула объемного метода подсчета запасов нефти
6. Основные подсчетные параметры, применяемые в объемном методе подсчета запасов
7. Методы определения основных подсчетных параметров
8. Основные параметры, определяющие геометризацию залежей разных типов. Понятие внутреннего и внешнего контура нефтегазоносности

# Вопросы к защите лабораторных работ по “Подсчету запасов и оценке ресурсов нефти и газа”

9. Параметры подсчета, определяемые при лабораторных исследованиях керна

10. Методы определения КИН.

11. Дать определение терминам:

- площадь нефте(газоносности) носности;
- нефтенасыщенная (эффективная) толщина пласта;
- нефтенасыщенность;
- пересчетный (объемный коэффициент)

12. Дать определение терминам «запасы», «ресурсы», «начальные суммарные и текущие ресурсы».

13. Методы расчета геологических и извлекаемых запасов растворенного газа и конденсата

14. Классификация запасов и ресурсов

*Вопросы к защите лабораторных работ по  
“Подсчету запасов и оценке ресурсов нефти и газа”*

15. Классификация месторождений

16. Категории запасов и ресурсов.

17. Подходы к оценке ресурсов нефти и газа локальных объектов

18. Методы оценки прогнозных ресурсов

19. Сущность метода геологических аналогий

20. Основные геологические характеристики, определяющие коэффициенты аналогии

21. Особенности оценки запасов и ресурсов в скоплениях нефти и газа в низкопроницаемых (сланцевых) коллекторах

*Благодарю за внимание!*