



**РОСГЕОЛОГ
ИЯ**

В.И. Высоцкий
(ОАО «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ»)

ТЕНДЕНЦИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОЙ НЕФТИ В МИРЕ

Апрель, 2021

**Джордж Митчелл (1919-2013) -
«отец сланцевой революции»**

**Основатель компании «Mitchell
Energy and Development»,
которая первая в мире начала
добычу газа из сланцев с
использованием
горизонтального бурения и
гидроразрыва пласта**



*По добыче газа с 2011 года, добыче нефти с 2017 года
США занимают первое место в мире.*

*В 2019 году доля сланцевого газа в общей добыче в стране
составила 75,6%, а сланцевой нефти - 49,2%.*

- 18.04.1977 – Мы должны начать сейчас разрабатывать новые нетрадиционные источники энергии, на которые мы будем полагаться в следующем столетии.
(Президент США Джимми Картер)
- 09.11.1978 – Закон о политике в области природного газа, предусматривающий ценовые льготы при разработке нетрадиционных газовых ресурсов
- 1987 – Закон о чистой воде
- 1990 – Закон о чистом воздухе
- 1996 – Закон о безопасности питьевой воды.
- 1991 – Mitchell Energy and Development пробурили первую скважину на плее Барнет с горизонтальным стволом и гидроразрывом.
- 1998 – Этой компанией пробурена первая рентабельная скважина на сланцевый газ и начата его добыча.

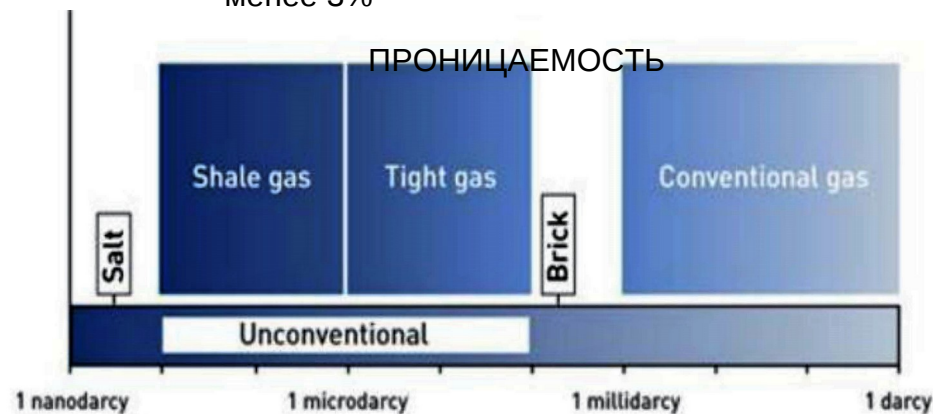
НЕФТЕГАЗОСОДЕРЖАЩИЕ СЛАНЦЫ



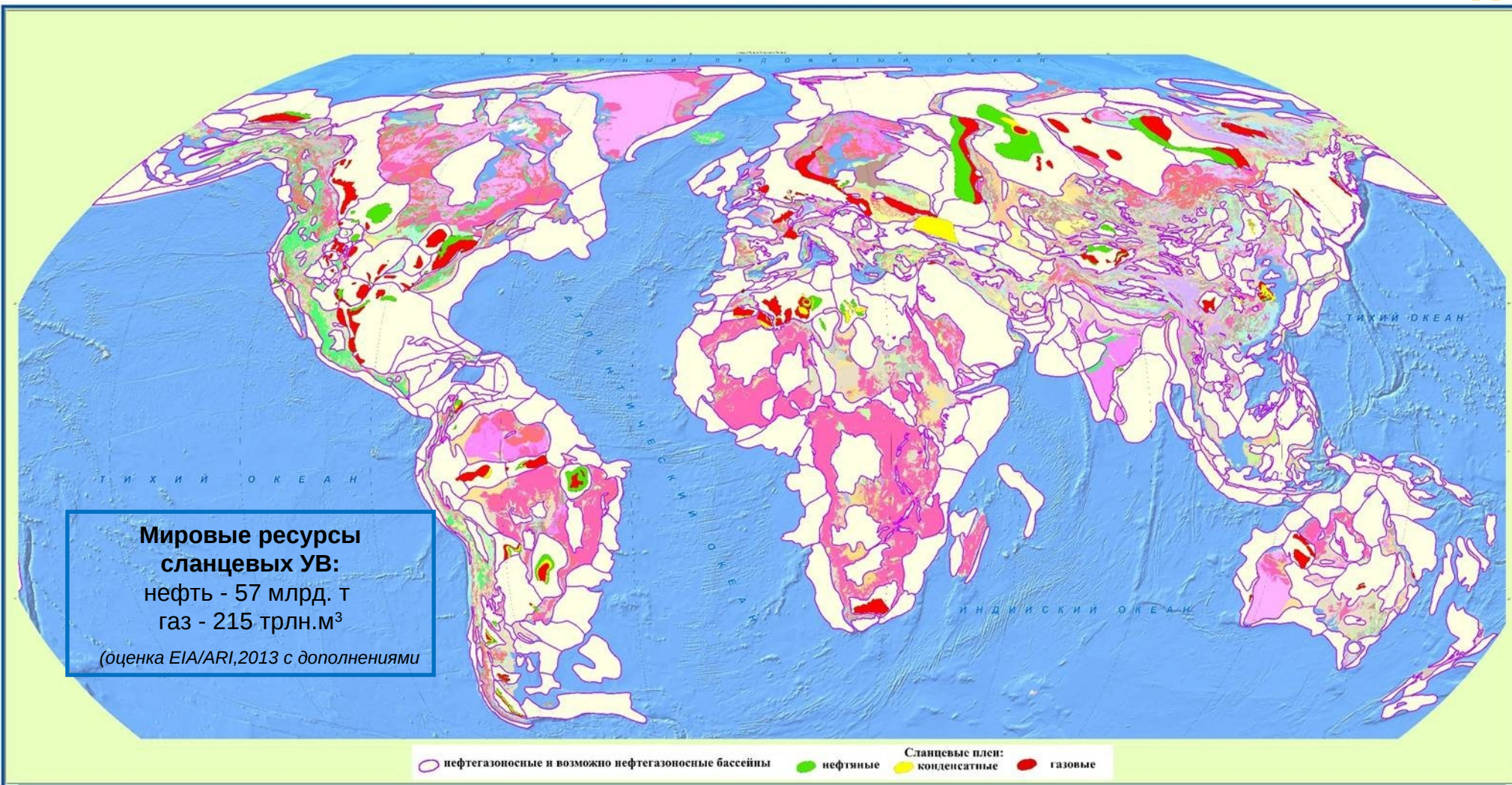
Сланцы (shale) – слоистая горная порода, состоящая из глинистых (гидрослюда, хлориты и другие) и неглинистых минералов диаметром менее 0,05 мм.

Shale Gas и Shale Oil (Tight Oil) – газонефтедержащие сланцы при следующих условиях:

- содержание глинистых минералов в породе менее 50%
- количество органического вещества более 1%
- зрелость органического вещества должна соответствовать образованию нефтяных и газовых углеводородов
- пористость породы должна составлять не менее 3%



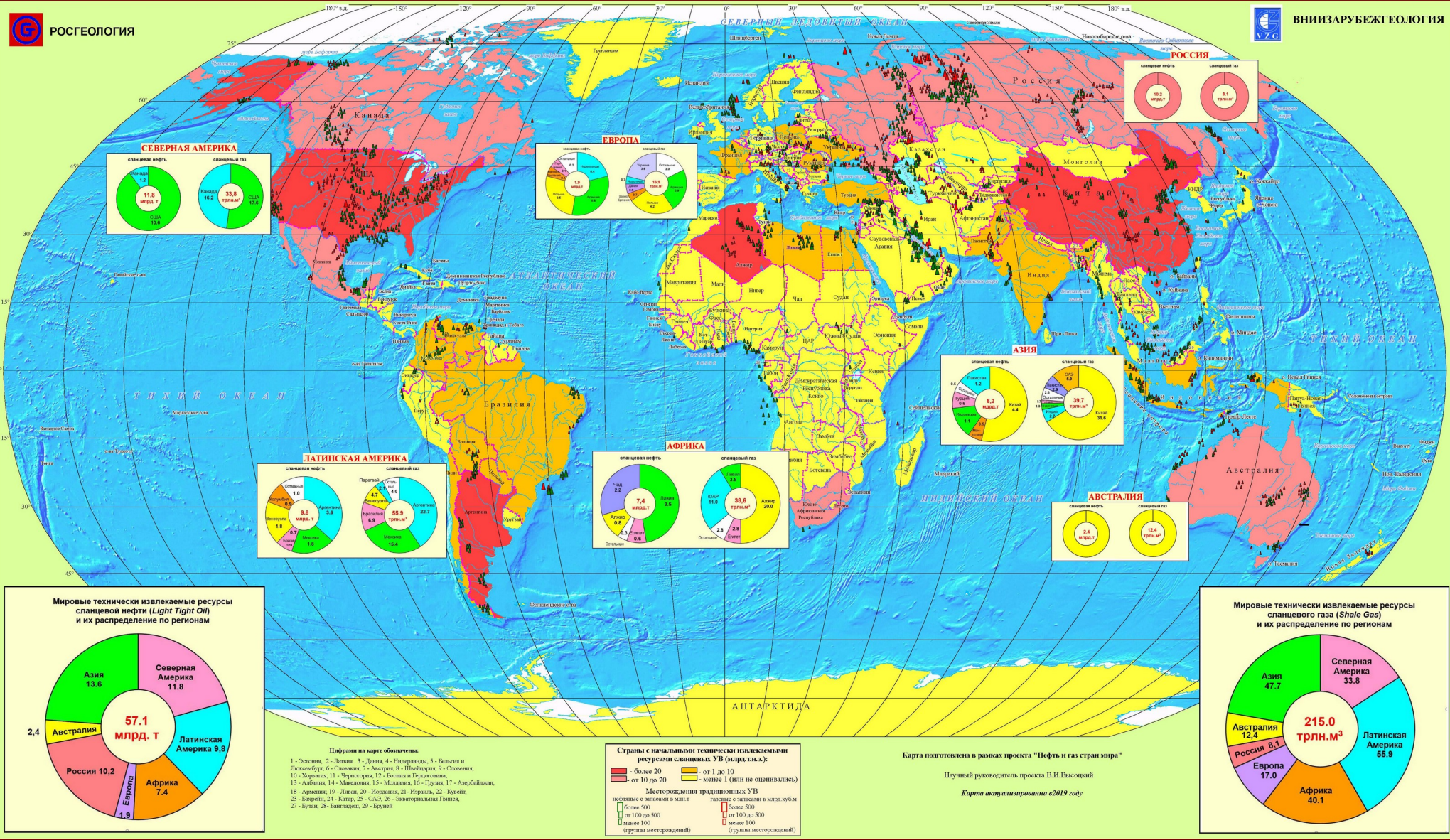
В 2019 году из сланцев Марцеллус было извлечено 245 млрд.м3 газа (34% общей добычи в стране)



Сланцевая нефть: на 10 стран (США, Россия, Китай, Аргентина, Ливия, ОАЭ, Австралия, Венесуэла, Мексика, Казахстан) приходится 75% ресурсов.

Сланцевый газ: на 10 стран (Китай, Аргентина, Алжир, США, Канада, Мексика, Австралия, ЮАР, Бразилия, Польша) приходится 74% ресурсов.

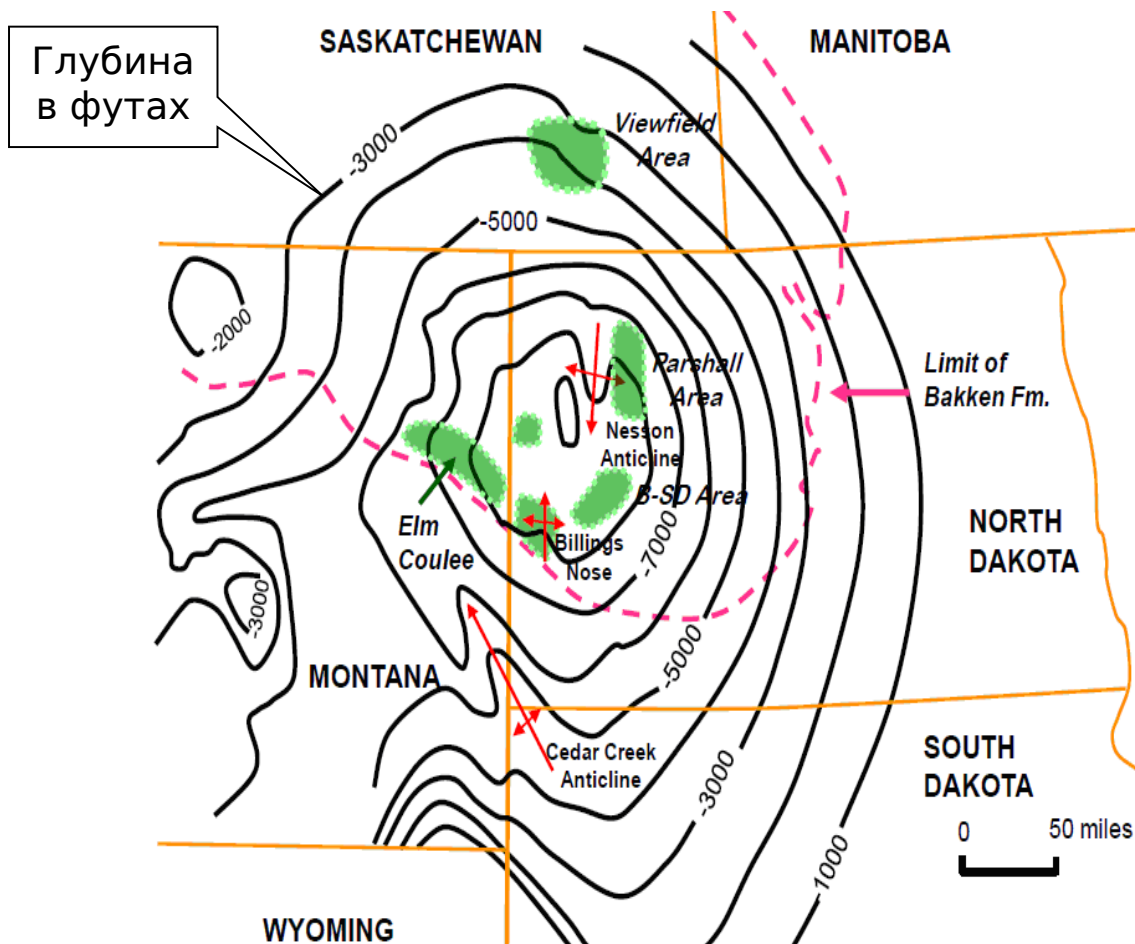
РЕСУРСЫ СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕВОДОДОРОВ МИРА



СЛАНЦЕВЫЕ ПЛЕИ СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ



БАСЕЙН УИЛЛИСТОН ПЛЕЙ БАККЕН



Возраст: поздний девон-ранний карбон

Глубина: 2400-3400 м;

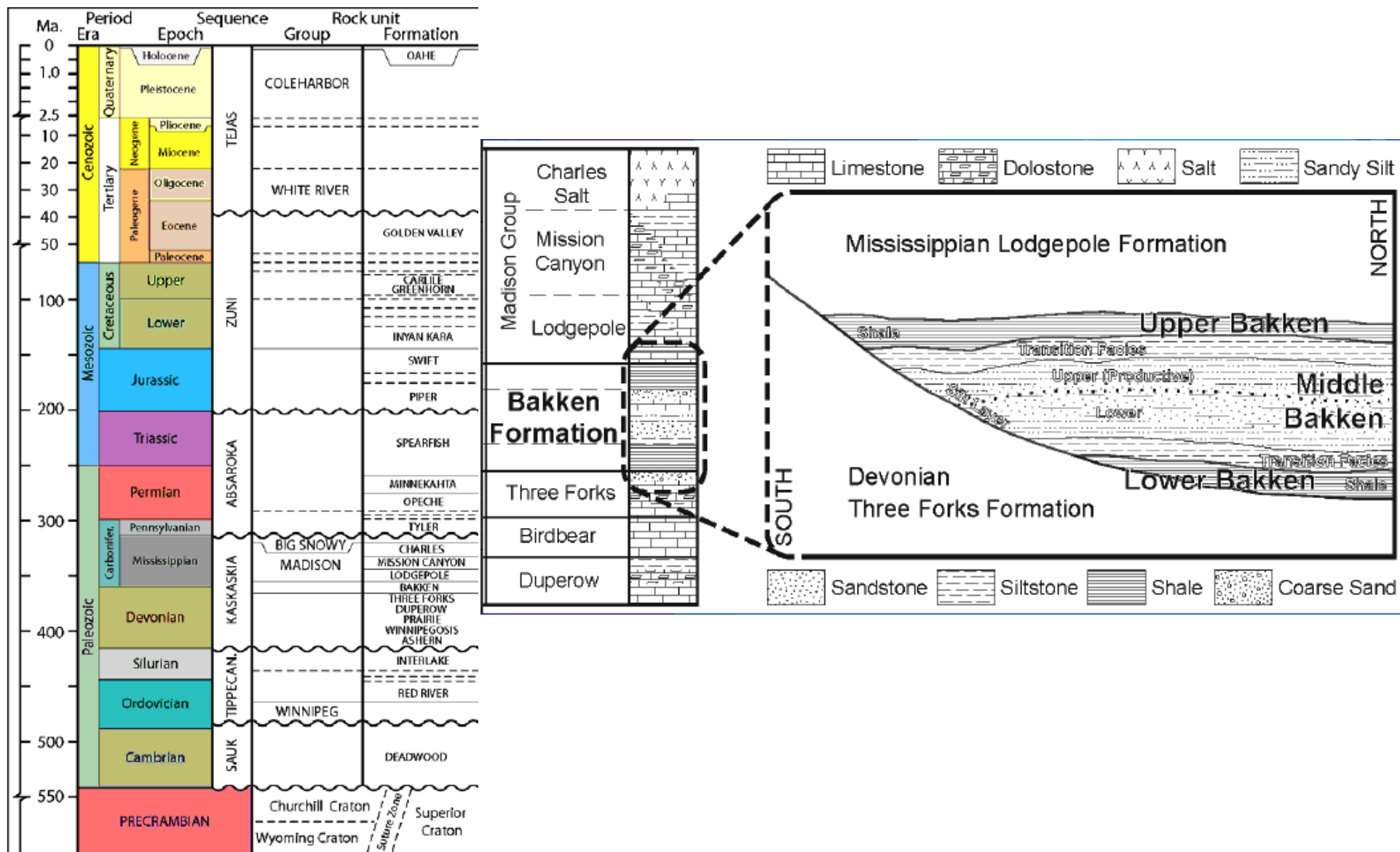
Нефтематеринские породы: верхний и нижний Баккен: черные сланцы от тонкослоистых до массивных, среднее содержание Сорг -10-11%, высокий HI, тип керогена – II (водоросли)

Резервуары: средний Баккен пористость 5-8%, проницаемость < 0,05 mD АВПД; Кан = 1.35-1.58 (0.6-0.8 psi/ft) средний Баккен – алевролиты и доломиты

Запасы нефти (на 01.2020) – 797,3 млн. т
Добыча нефти в 2019 г. – 70,5 млн.т

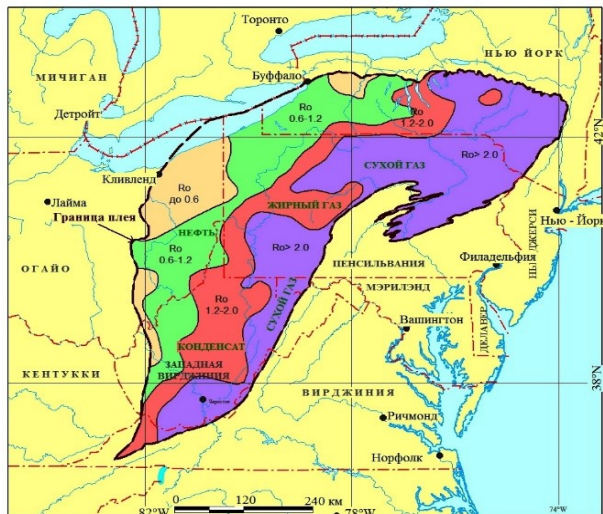
Средняя скважина продуцирует 540 тыс.бarr. за 30 лет.
Горизонтальный ствол – до 3000 м, 10-20 стадий ГРП.
Стоимость 8-10 млн.долл. (включая лицензионные платежи, ройалти и начальные операционные затраты).

БАСЕЙН УИЛЛИСТОН. СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ

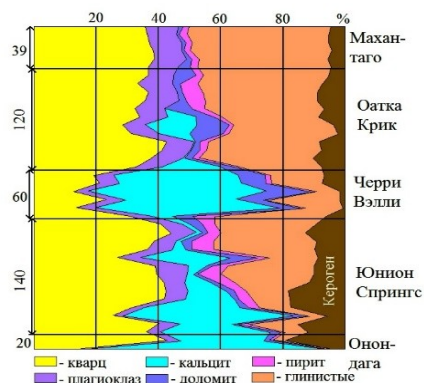


Минеральный состав, катагенетическая зрелость и содержание органического вещества

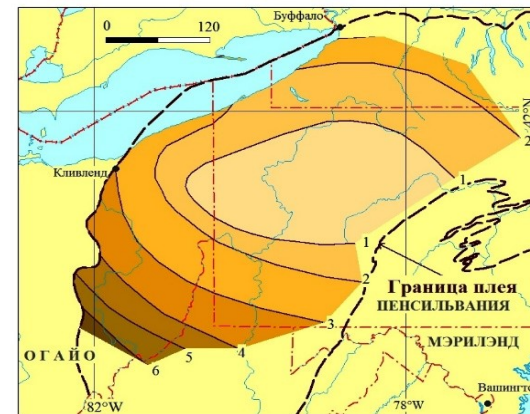
ЗОНЫ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ



МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ



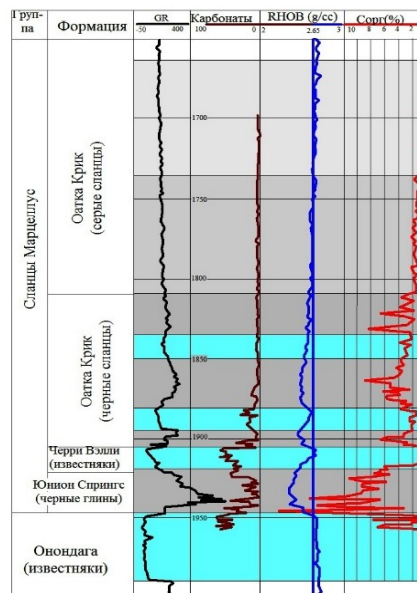
СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ВЕРХНЕЙ ПАЧКЕ ФОРМАЦИИ МАРЦЕЛЛУС (%)



КАРТА ИЗОРЕСПЛЕНД (Ro)



ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА



Возраст: средний девон

Площадь: 250 тыс. кв.м

Глубина кровли: 1500-3400 м

Эффективная мощность: 15-105 м

Пористость: 3-9%, проницаемость - 0,007 мД

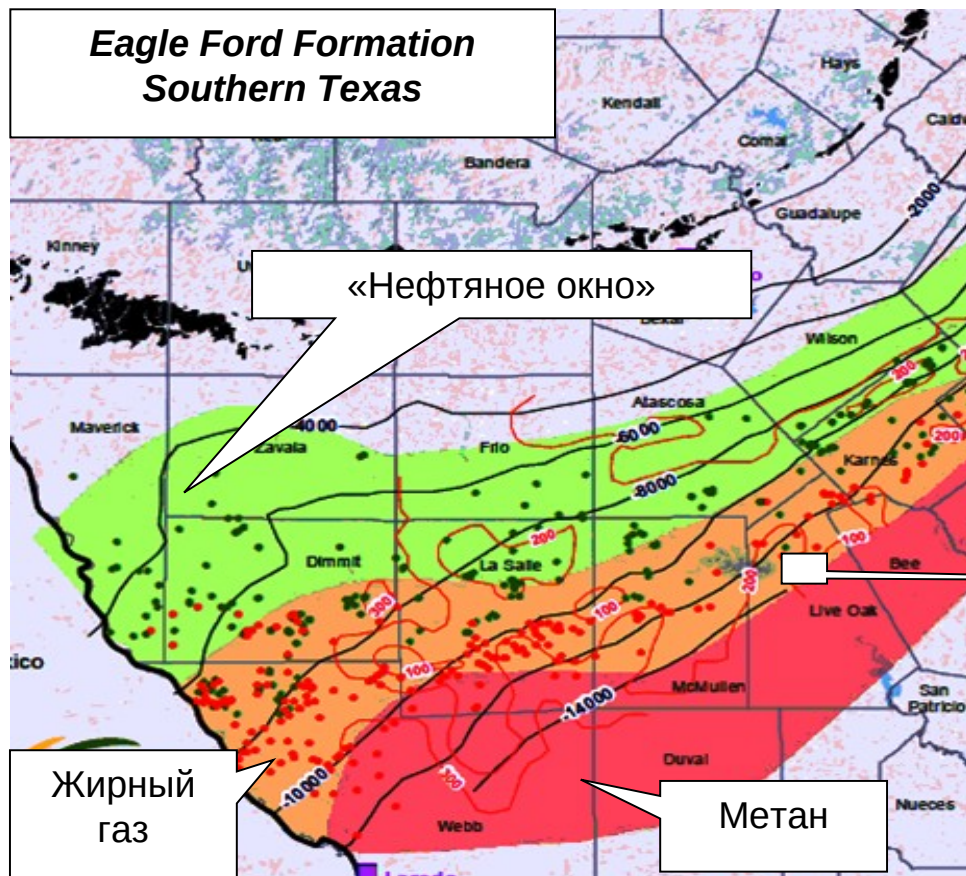
Содержание Сорг - 3-12%;

термальность зрелость 1,6-3,5, АВГД

Запасы газа (на 01.2020) – 3945 млрд. м³

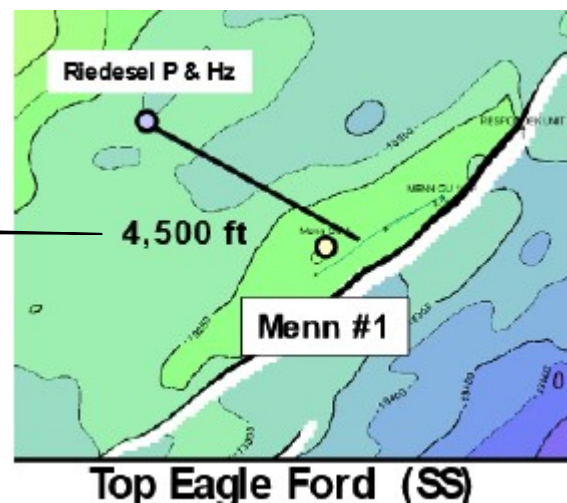
Добыча газа в 2019 г. – 246,2 млрд. м³

БАСЕЙН МЕКСИКАНСКОГО ЗАЛИВА ПЛЕЙ ИГЛ ФОРД



Источник: EIA, 2010

Скважина Menn-1 (вертикальная):
Дебит жирного газа – 15 тыс.м³/сут.
(одна стадия ГРП)
Скважина Riedesel Pg Hz (горизонтальная):
Дебит газа – 444 тыс.м³/сут.
в т.ч. 92 т конденсата (14 стадия ГРП)



Источник: Americas Petrogas Presentation, 3 may, 2013

Возраст: сеноман-турон

Площадь: 62 тыс. кв.м

Глубина кровли: 1200-4400 м; мощность: 15-107 м

Содержание: глин - 20%, карбонатов – до 60%;

Сорг. – 4%, пористость - 2%, проницаемость – 0,7 мД

Запасы на 01.2020: нефти – 586,1 млн. т
газа – 752,8 млрд. м³

Добыча в 2019 г. нефти – 61,2 млн. т
газа – 59,4 млрд. м³

ПЛЕЙ ИГЛ ФОРД (нижняя пачка)

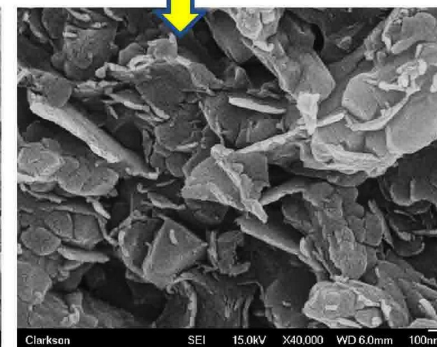
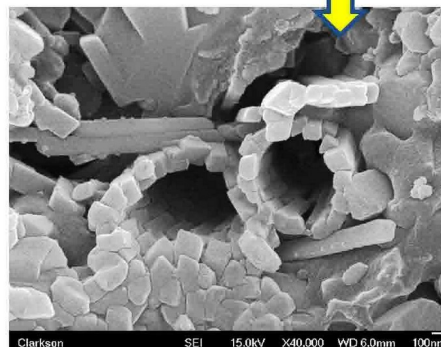
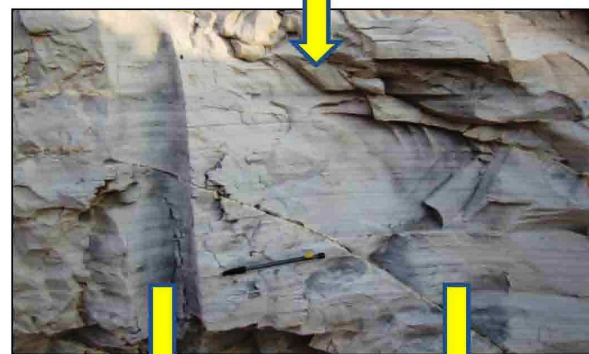
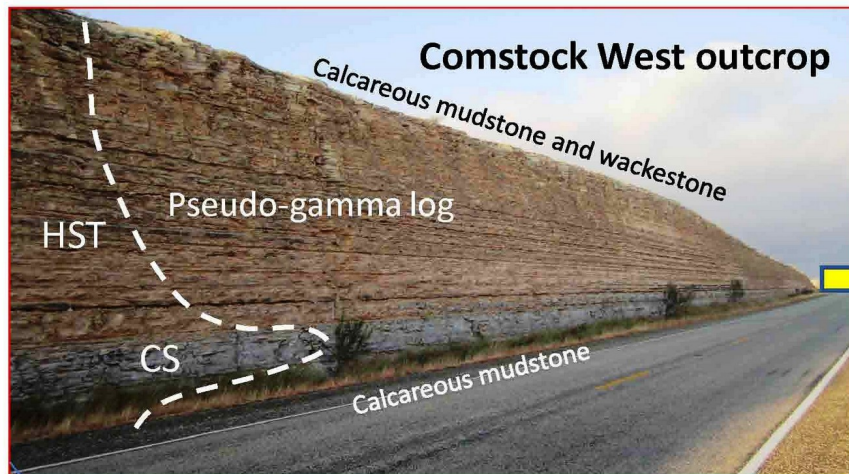
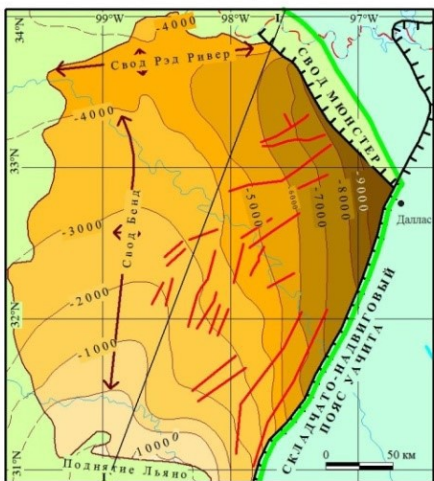


Figure 08: Location map illustrating the key outcrop localities along U.S. 90, northwest of Del Rio in Val Verde and Terrell Counties, Texas, along with the position of the Shell Hart 1 well.

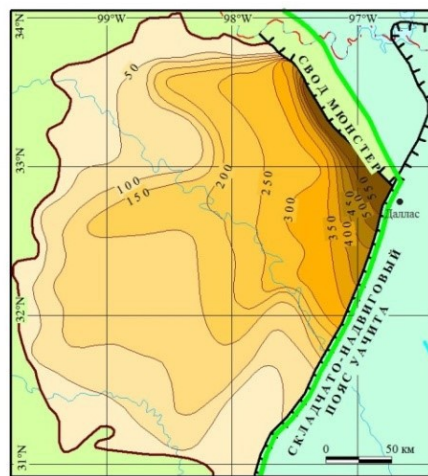
ПЕРМСКИЙ БАСЕЙН

ПЛЕЙ БАРНЕТТ (нижний карбон) и ПЕРМСКИЕ ПЛЕИ (карбон-пермь)

КАРТА ИЗОГИПС КРОВЛИ ФОРМАЦИИ БАРНЕТТ



КАРТА ИЗОПАХИТ ФОРМАЦИИ БАРНЕТТ



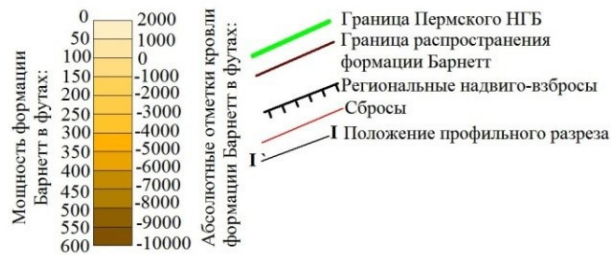
РАСПОЛОЖЕНИЕ СЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЙ ПЕРМО-КАРБОНА



ОБЗОРНАЯ СХЕМА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПЕРМСКОГО НГБ



ФОРМАЦИИ ПЕРМОКАРБОНА:



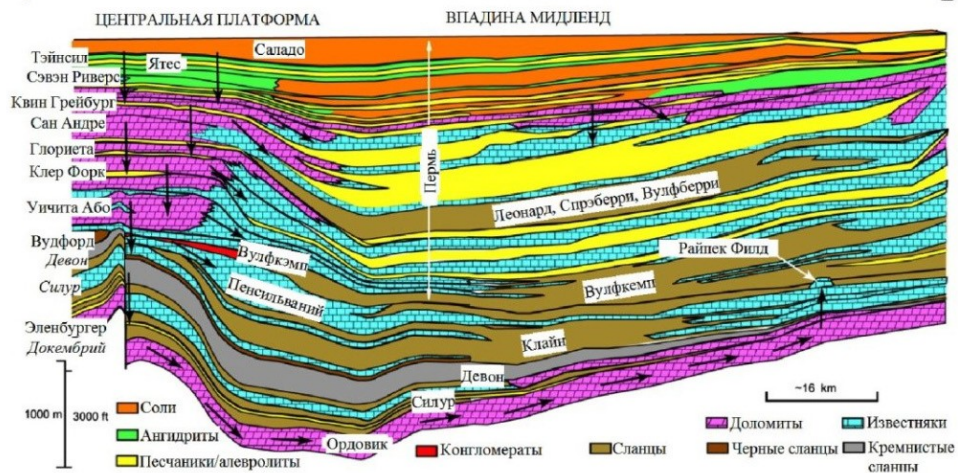
ПРОФИЛЬНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ I-I'



3

ПРОФИЛЬНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ II-II'

В



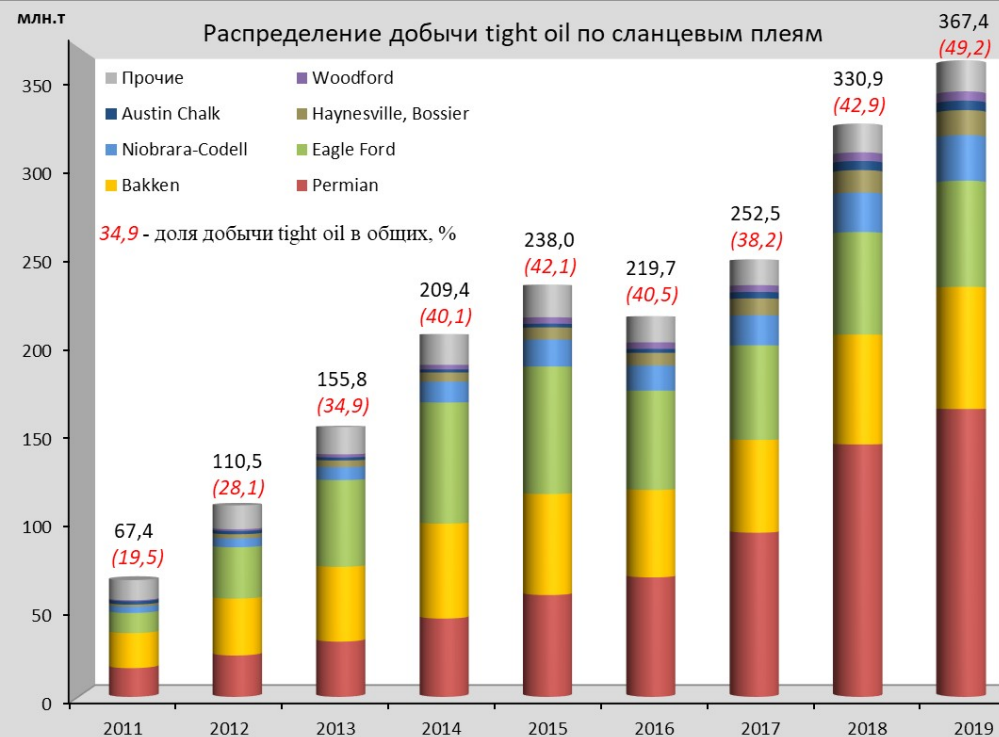
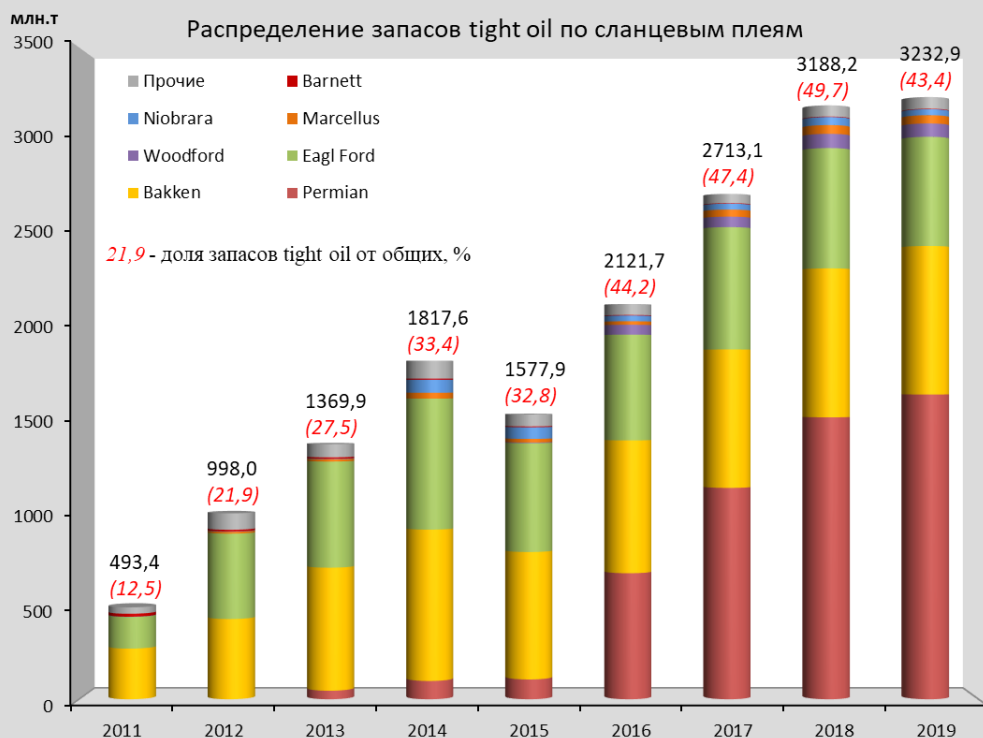
Плей Барнетт – газonosный
Запасы газа на 01.01.20 – 399 млрд. м³
Добыча газа в 2019 г. – 31,1 млрд. м³

Пермские плеи – нефтеносные
Запасы нефти на 01.01.20 – 1636 млн. т
Добыча нефти в 2019 г. – 166,1 млн. т

Распределение запасов и добычи сланцевой нефти по пляям США в 2019 году

Запасы, млн. т

Добыча, млн. т



Запасы жидких УВ в США в 2019 году – 7445 млн. т,
в том числе сланцевой нефти – 3232,9 млн. т (43,4%).

На основные сланцевые плеи - *Пермские, Баккен и Игл Форд* приходится 93,4% запасов сланцевой нефти.

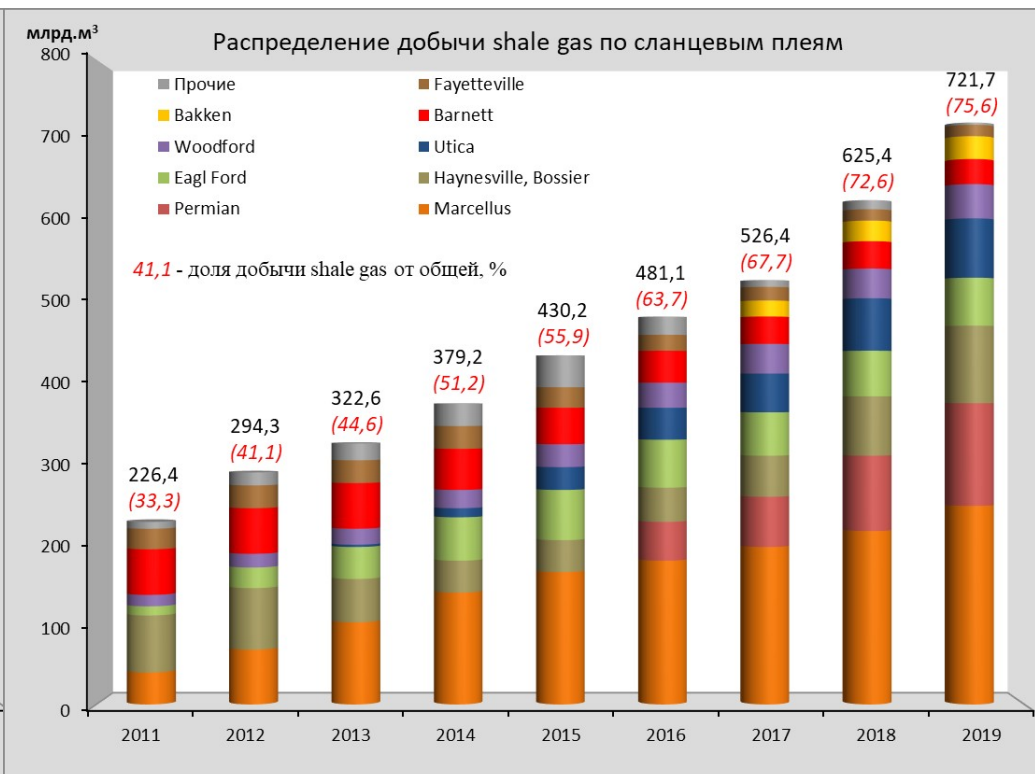
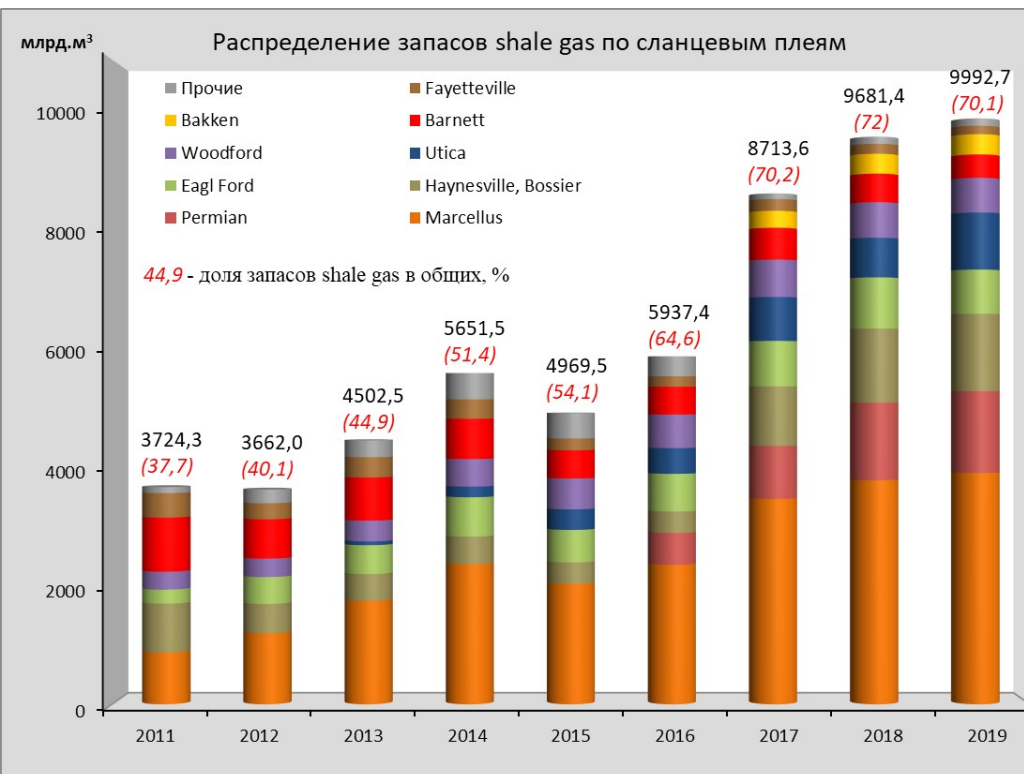
Добыча жидких УВ в США в 2019 году составила 747 млн. т,
в том числе сланцевой нефти – 367,4 млн. т (49,2%).

Основная добыча производилась на сланцевых пляях - *Пермских, Баккен и Игл Форд* (81%).

Распределение запасов и добычи сланцевого газа по плеям США в 2019 году

Запасы, млрд. м³

Добыча, млрд. м³



Запасы газа в США в 2019 – 14 254 млрд. м³,
в том числе сланцевого газа – 9992,7 млрд. м³ (70,1%).

На основные сланцевые плеи –
Марцеллус, Пермские, Хайнесвилл Босье и Игл Форд
приходится 74% запасов сланцевого газа.

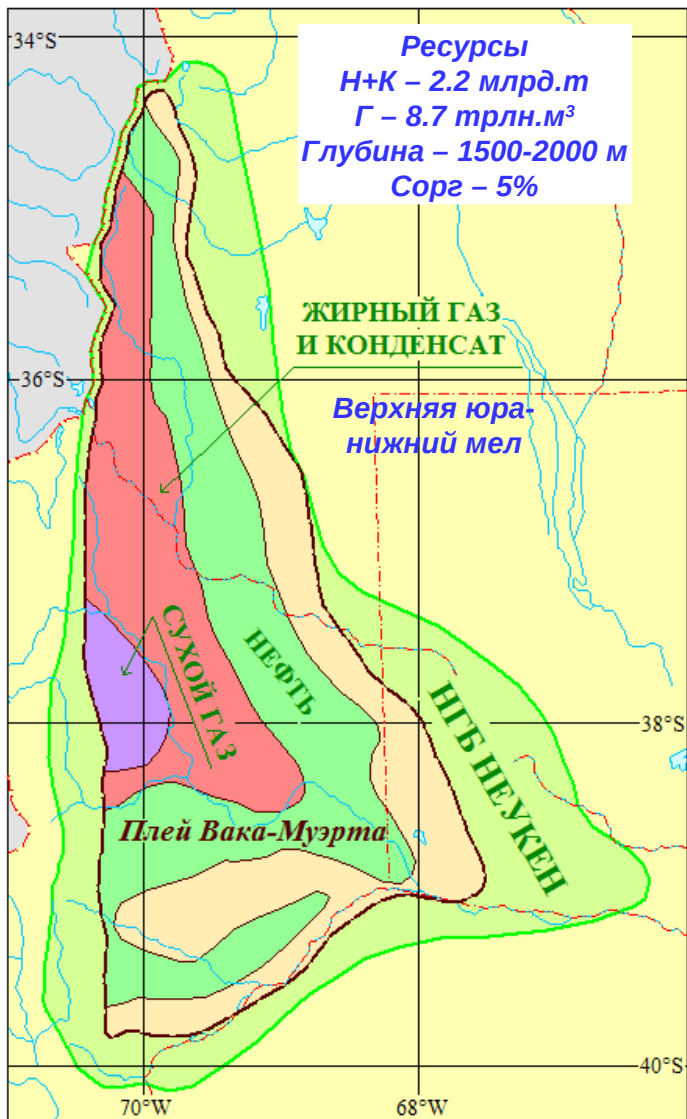
Добыча газа в США в 2019 году составила 955 млрд. м³, в
том числе сланцевого газа – 721,7 млрд. м³ (75,6%).

Основная добыча производилась на сланцевых плеях
Марцеллус, Пермских, Хайнесвилл Босье и Игл Форд (73%).

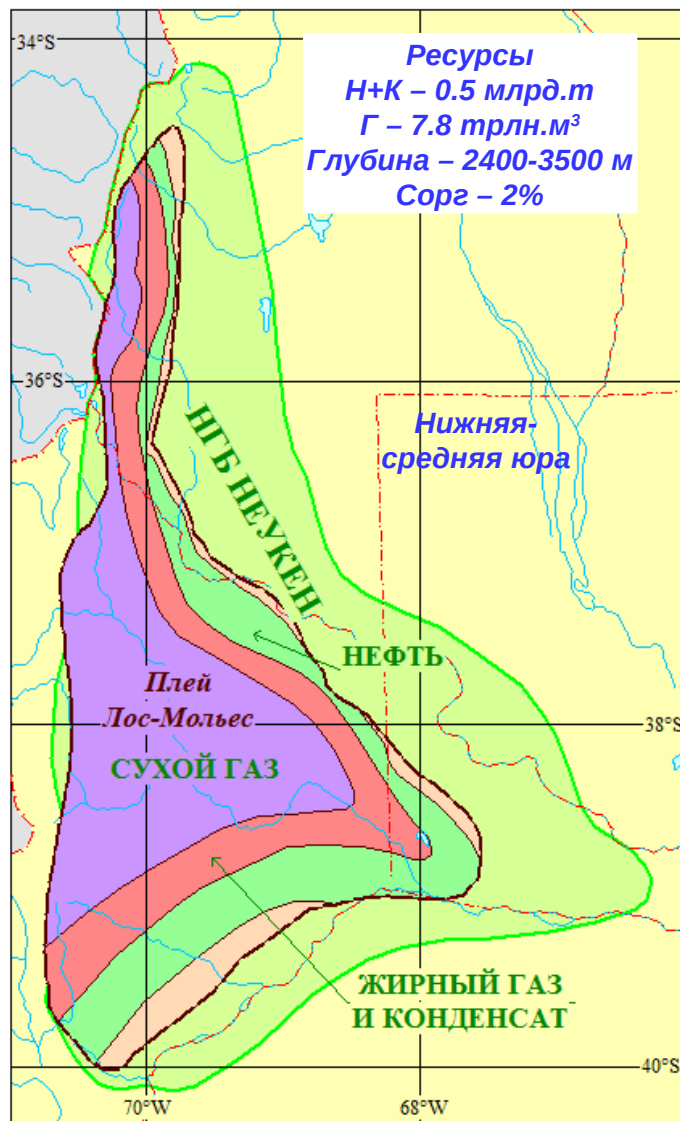
АРГЕНТИНА

Зоны генерации углеводородов в бассейне Неукен

ПЛЕЙ ВАКА-МУЭРТА



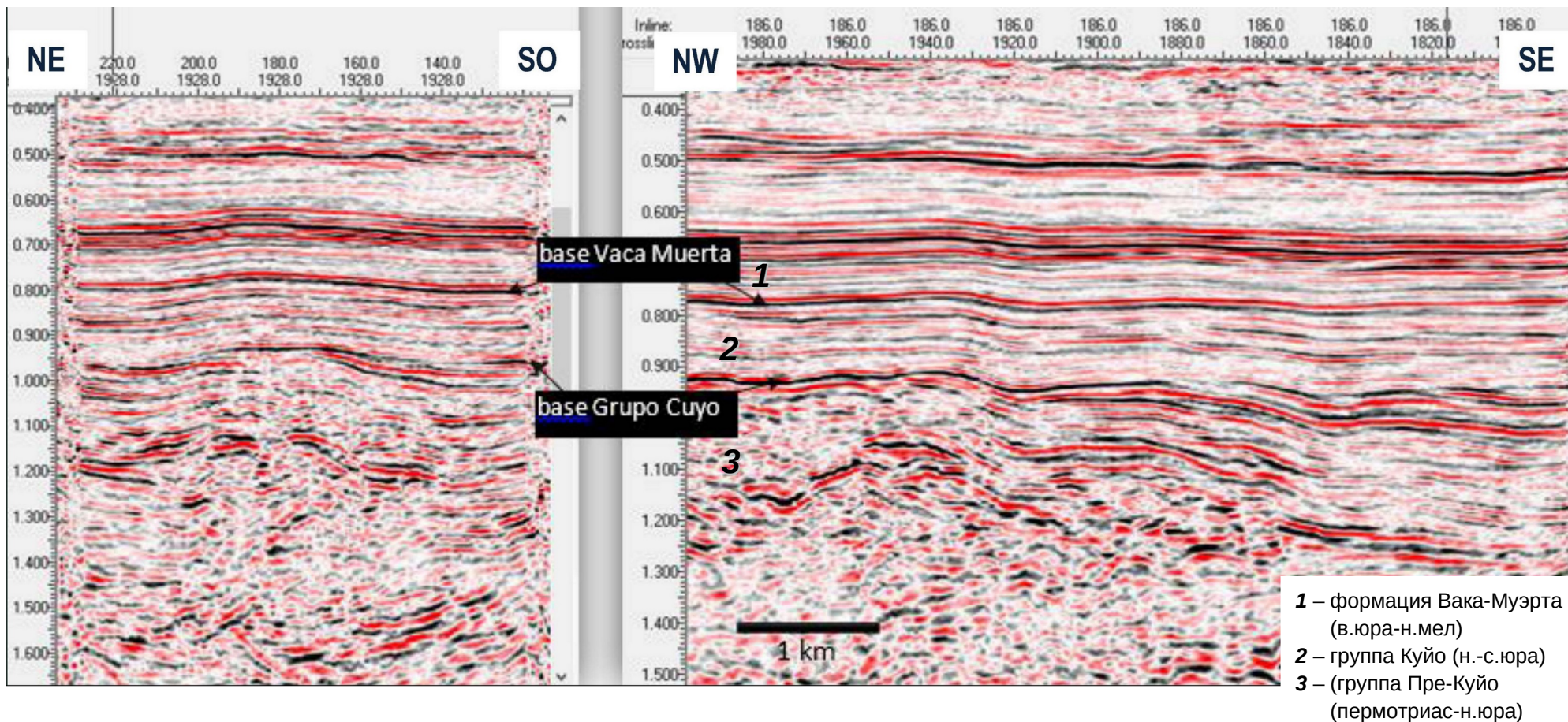
ПЛЕЙ ЛОС-МОЛЬЕС



Ресурсы сланцевых УВ
Аргентины
в целом / НГБ Неукен
Н+К – 3.6 млрд.т / 2.7 млрд.т
Г – 22.7 трлн.м³ / 16.5 трлн.м³

Добыча нефти
на плее Вака-Муэрта
началась в 2014 г.,
в 2019 г. она составила
15 млн.т (9%)

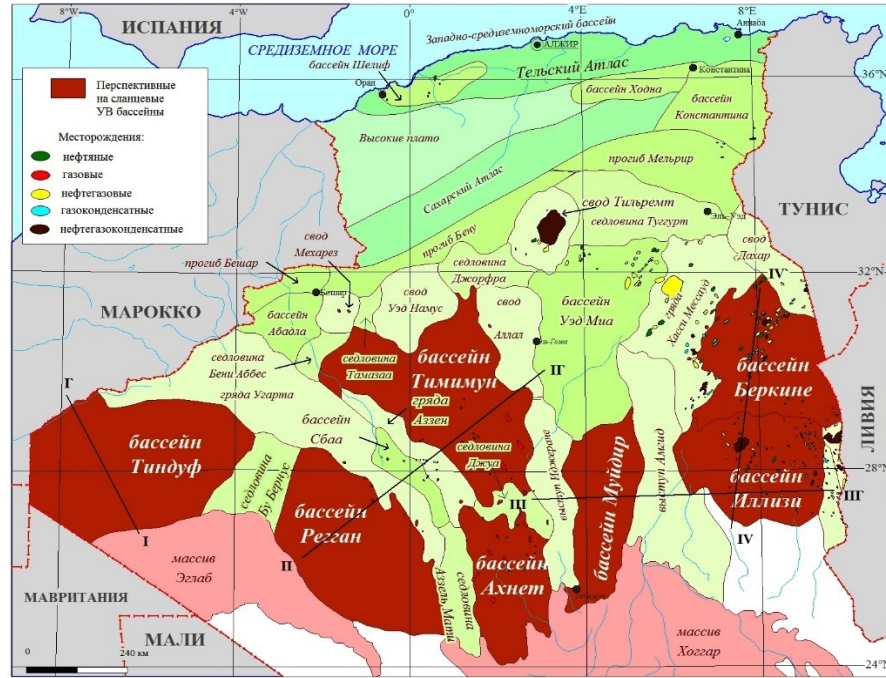
СЕЙСМИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА НЕУКЕН



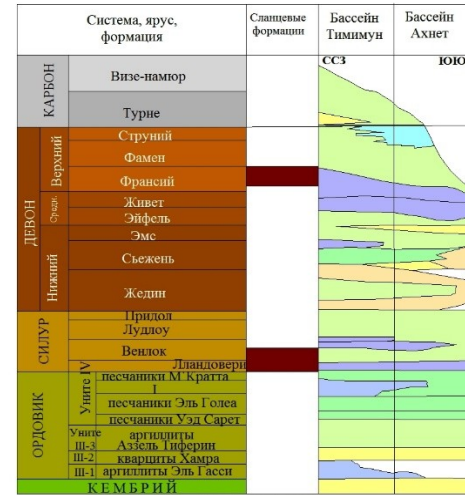
Формация Вака-Муэрта: площадь распространения – 90 тыс. кв. км, глубина залегания – 1000-3000 м; мощность – 25-450 м; содержание Сорг. – 3-14%, наиболее типичное 5%; пористость – 7-12%; проницаемость – 50-200 нанодарси; АВГД. Минеральный состав: кварц- и полевые шпаты – 50%, глинистые минералы – 20%, карбонаты – 30%.

Распространение и условия залегания сланцевых формаций в нефтегазоносных бассейнах Алжира

СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АЛЖИРА И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НА СЛАНЦЕВЫЕ УВ БАСЕЙНЫ

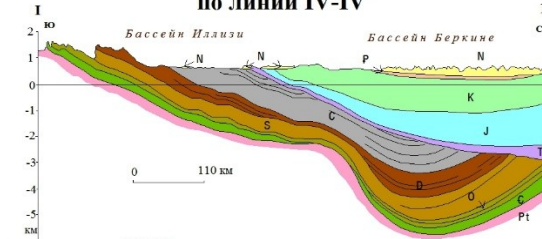


ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ БАСЕЙНОВ ТИМИМУН И АХНЕТ

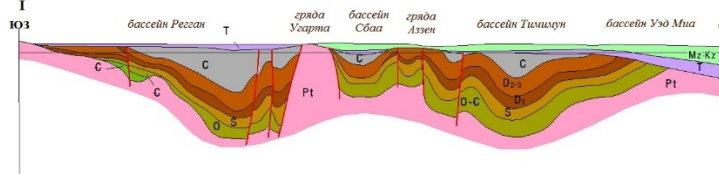


- Морские песчаники
- Флювиальные песчаники
- Прибрежные песчаники
- Морские глины
- Морские известняки и мергели
- Склоновые аргиллиты
- Шельфовые алевролиты и тонкозернистые песчаники

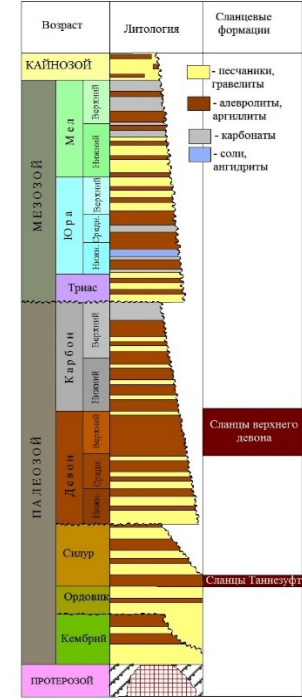
ПРОФИЛЬНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ ПО ЛИНИИ IV-IV'



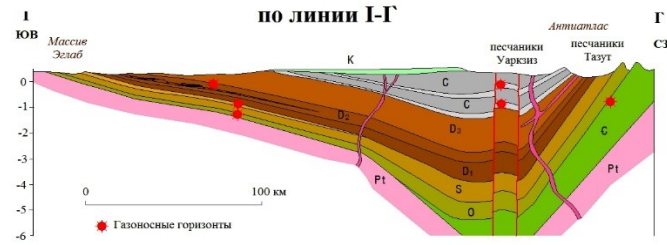
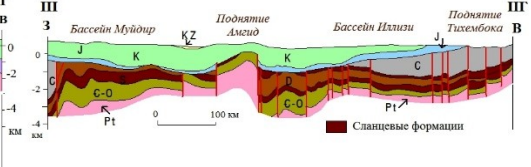
по линии II-II'



ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ БАСЕЙНОВ БЕРКИНЕ И ИЛЛИЗИ

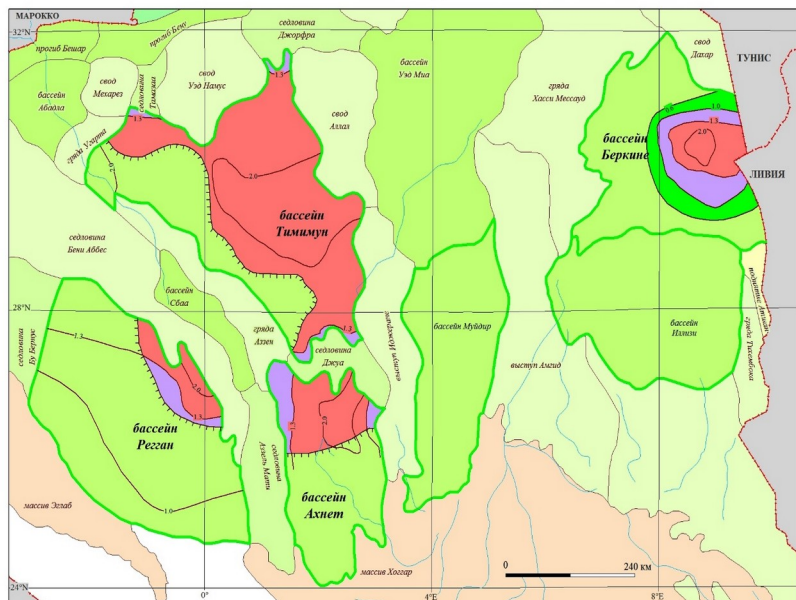


по линии III-III'

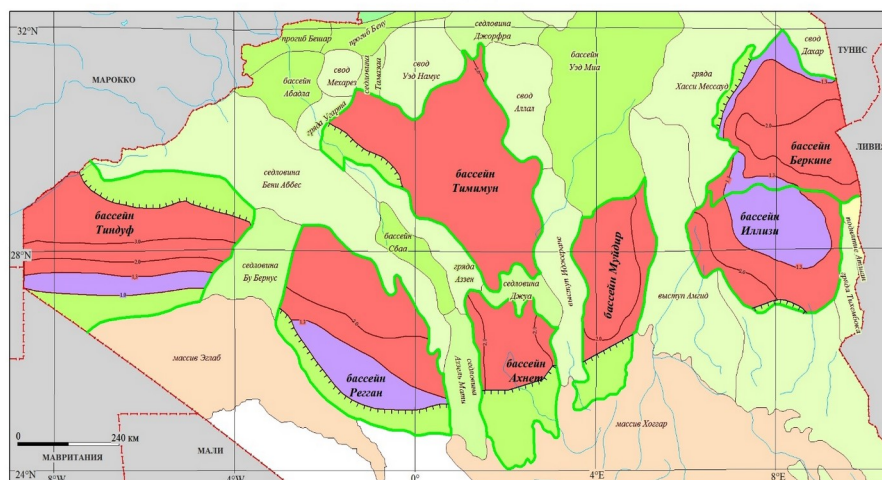


Зоны генерации углеводородов в силурийских и верхнедевонских сланцевых формациях нефтегазоносных бассейнов Алжира

ВЕРХНИЙ ДЕВОН



НИЖНИЙ СИЛУР



Зоны генерации:

■ - конденсат+жирного газа
 ■ - сухого газа
 ■ - нефти
 Фациальное замещение сланцев
 Изорезыенты Ro

Плей Танезуфт – нижний силур

Площадь – 60 тыс. кв. км

Глубина кровли – 3020-4400 м

Средняя эффективная мощность – 30 м

Содержание Сор_г – 5,7%

Литология – сланцы с прослоями алевролитов.

В нижней части присутствуют «горячие сланцы» (hot shale). Регионально прослеживаются по гамма-каротажу.

Франский плей – развит на площади 5 тыс. кв. км.

Литология – чередование сланцев и алевролитов.

Глубины кровли – 2440-2750 м

Эффективная мощность – 40-54 м

Содержание Сор_г - 2-6%

Большая часть плей перспективна на нефть и жирный газ

Ресурсы сланцевого газа Алжира

оцениваются в 20 трлн. м³, нефти - 0,8 млрд. т

Газосланцевый потенциал бассейнов Тарим и Сычуань

*В бассейне Сычуань пробурено более 1000 скважин
Добыча газа в 2019 г. составила 15 млрд.м³
(8,8% от общей добычи)*

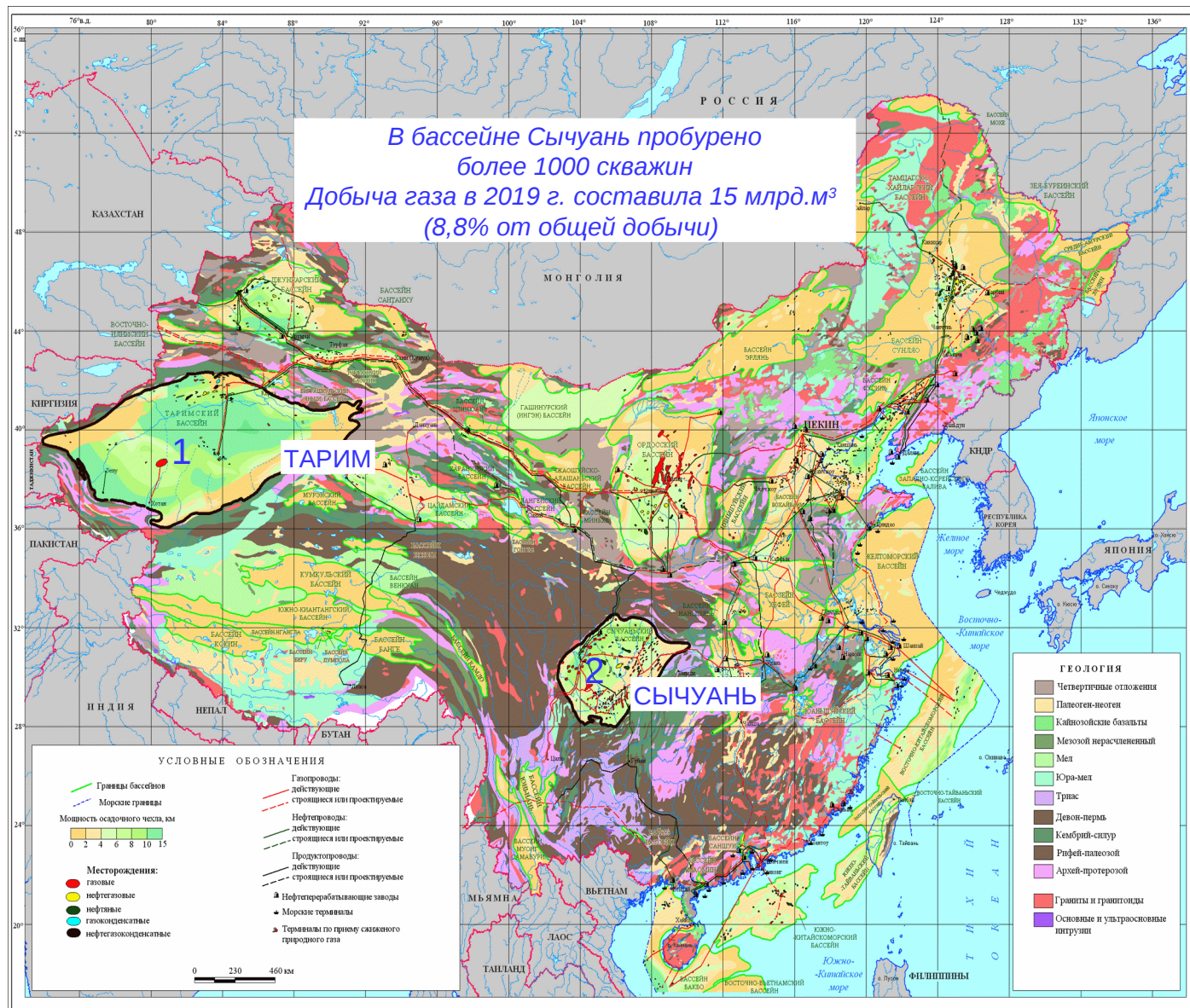
1 – Тарим Q извл. - 5,7 трлн. м³
1.1 Плей-сланцы О1, О2, О3 (ордовик)
 Перспективная площадь – 140.8 тыс.км²,
 Мощность эффективная – 80 м,
 Сорг.-2%, R0 -2.0.

1.2 Плей-сланцы кембрия
 Перспективная площадь – 162.7 тыс.км²,
 Мощность эффективная – 123 м,
 Средняя глубина – 4300 м,
 Сорг.-2%, R0 – 2.5.

2 – Сычуань Q извл. - 17,7 трлн.м³
2.1 Плей Лонгмакси (силур)
 Перспективная площадь – 145.6 тыс.км²,
 Мощность эффективная – 85 м,
 Средняя глубина – 3260 м,
 Сорг. – 3%, R0 – 2.3.

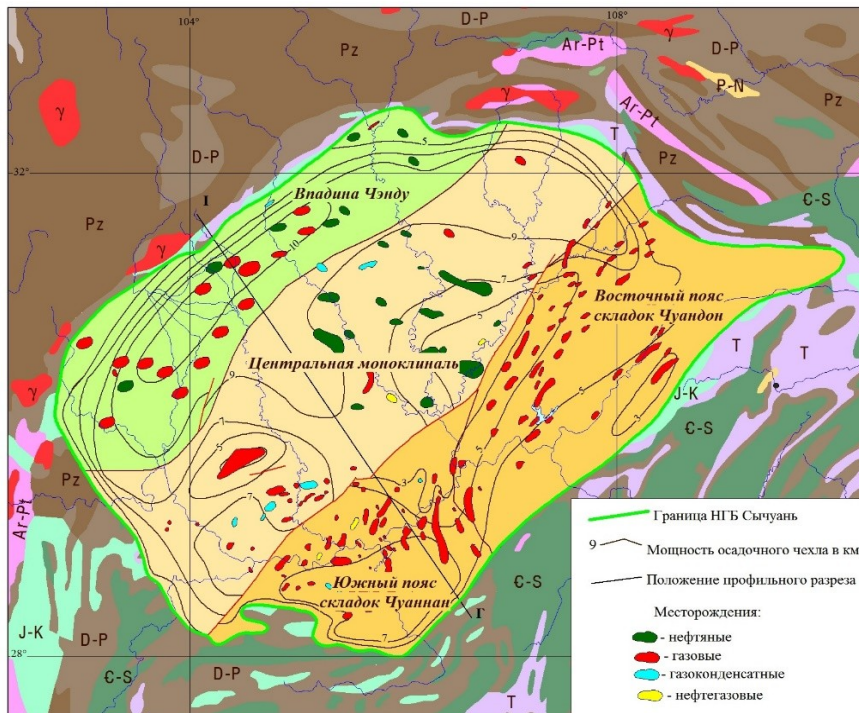
2.2 Плей Кионгшуси (кембрий)
 Перспективная площадь – 208.6 тыс.км²,
 Мощность эффективная – 60 м,
 Средняя глубина – 3500 м,
 Сорг. 3%, R0 – 2.5.

Суммарные извлекаемые ресурсы:
 По АRI, 2013 г. – 31.6 трлн.м³
 По ВЗГ, 2011 г. – 26 трлн.м³
 По данным министерства земель и ресурсов КНР, 2012 – 31 трлн.м³

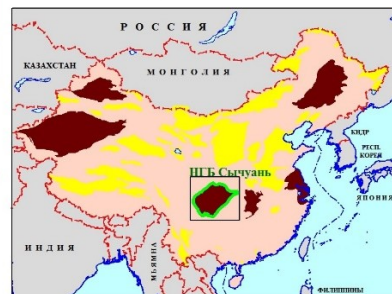


Распространение и условия залегания сланцевых формаций в нефтегазоносном бассейне Сычуань

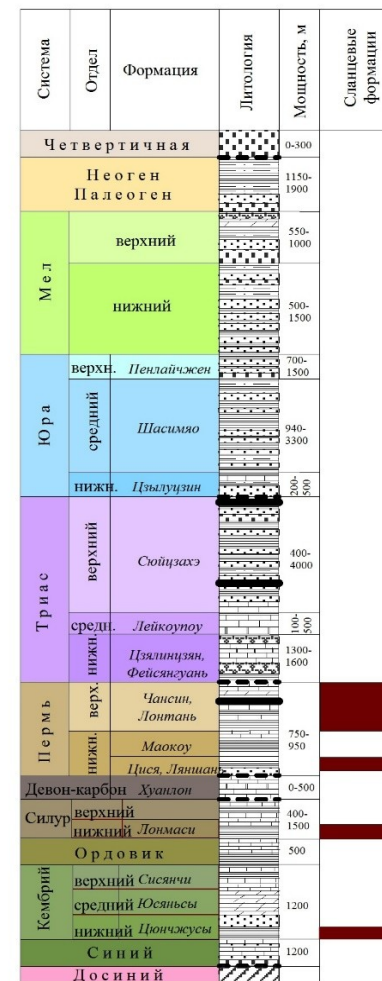
СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА



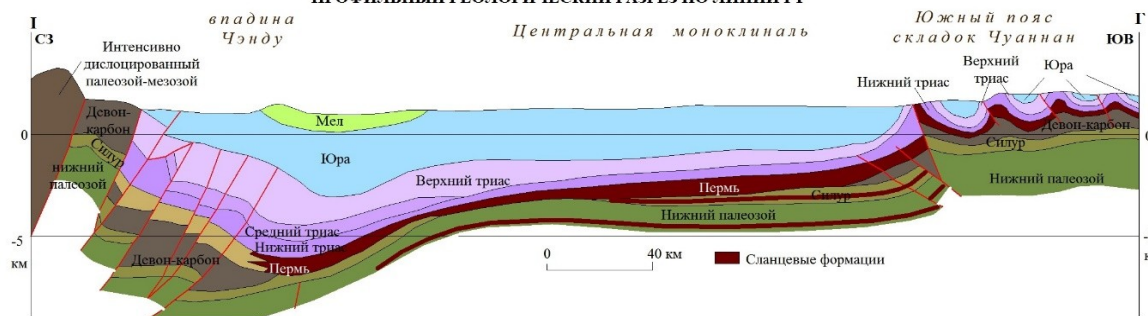
ОБЗОРНАЯ КАРТА



ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ



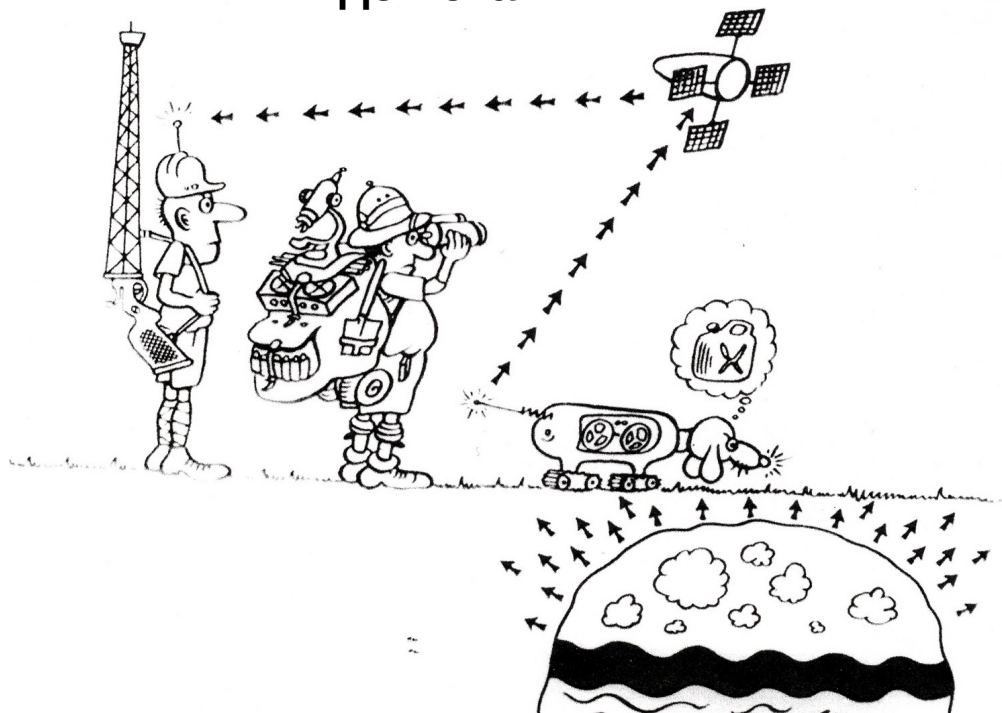
ПРОФИЛЬНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ I-G



1. В тектоническом отношении наиболее продуктивные сланцевые плеи выявлены в пределах окраинных прогибов древних платформ и внутренних впадин древних и молодых платформ.
2. Углеводородное насыщение сланцевых формаций находится в полном соответствии с термальной зрелостью, содержанием ОВ и его типов, а продуктивность – с минеральным составом.
3. Изучение зарубежных сланцевых плеев позволяет создать референтную модель (идеальный плей).
4. **Идеальный плей**: *глубина залегания* - 1200-3500 м, *эффективная мощность* - 25-200 м, *содержание ОВ* – более 3%, *термальная зрелость (R°)* – 0,6-2%; *минеральный состав* для терригенных формаций: диоксид кремния – более 30%, глинистых минералов – менее 35%; для карбонатных формаций: содержание кальцита и доломита – более 30%. АВПД – должно превышать расчетное гидростатическое не менее чем на 30%, пористость 4-7%.
5. Анализ результатов ГРП на сланцевые УВ показывает, что успеху «сланцевой революции» в США способствовали многолетние региональные работы по изучению геологического строения и вещественного состава сланцевых бассейнов, выполненные за счет федерального бюджета.

Широко распространенные в России и за рубежом опасения по поводу возможного нарушения химизма и сокращения запасов подземных вод питьевого и сельскохозяйственного назначения не находят своего подтверждения и чаще всего являются спекулятивными.

Где искать?



Первоочередной объект: Волго-Уральская НГП (развитая инфраструктура, высокая выработанность запасов традиционной нефти), объект – Доманик (франский ярус верхн. девона).

Другие объекты: Западно-Сибирская НГП (Баженовская свита); Северо-Кавказская НГП (Хадумская свита).

Что делать?

- Провести в пределах первоочередного объекта целенаправленные НИР с использованием имеющихся геолого-геофизических данных для выявления в пределах развития Доманиковой формации площадей, соответствующих референтной модели (идеальный плей).
- Выделить на этих площадях полигоны для проведения высокоточных сейсмических и других геофизических работ с целью определения наиболее перспективных участков (Sweet Spot). Пробурить на этих участках по опытной горизонтальной скважине с многостадийным ГРП.