

**ОЦЕНКА СТРАТЕГИЧЕСКИХ
НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ
НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ**

Абукова Л.А., Шустер В.Л.
(Институт проблем нефти и газа РАН, г.Москва)

Перефразируя классика: «сведения о скором заканчивании нефтяной эры сильно преувеличены»

Резюме

Намечены перспективные направления геологоразведочных работ для прироста нефтегазовых ресурсов в России. Предложены критерии оценки этих направлений с целью выбора приоритетных из них для работы в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Summary

Perspective directions of exploration are suggested to increase oil and gas resources in Russia.

- Criteria for evaluation of these directions are proposed to select the priority of them in the short and medium term.

Страны мира	Себестоимость 1 барреля добытой нефти, долл. США
США (сланцевая нефть)	32
США (шельф Мексиканского моря)	25
Норвегия (Северное море)	17
Канада (битумная нефть)	16
Россия (новые месторождения)	16
Нигерия	11
Мексика	9
Венесуэла (битумная нефть)	9
Алжир	8
Ливия	7
Россия (действующие проекты)	6
Казахстан	6
Иран	5
Саудовская Аравия	4

- Табл.1. "Средние показатели себестоимости нефти по странам", май 2015.
 - (<http://utmagazine.ru/posts/9086-stoimost-dobychi-nefti>)

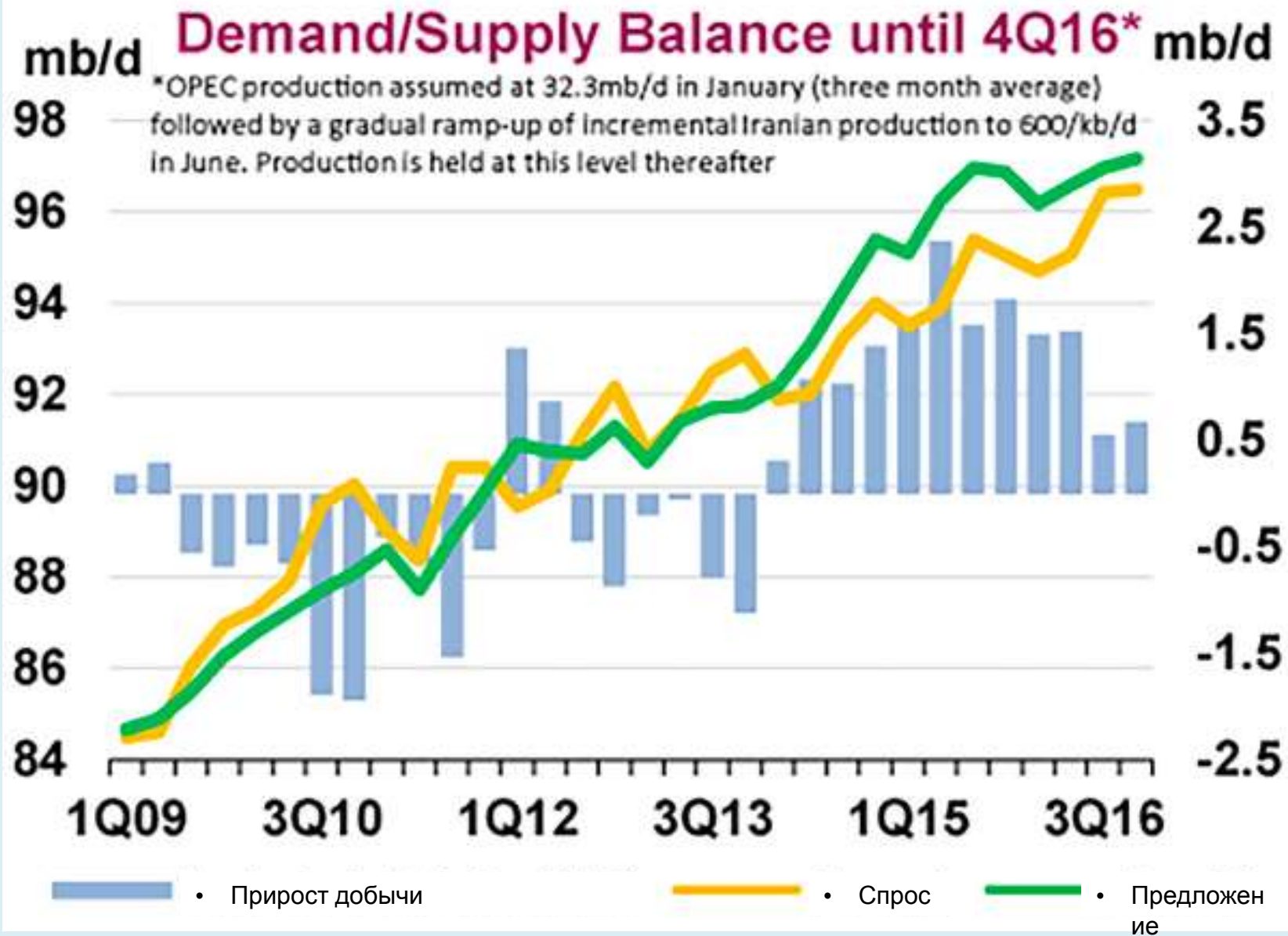
Cost For Producing Crude Oil per Barrel



Market Realist

Source: cnn.com based on Ucube by Rystad Energy

- График 1. Себестоимость производства сырой нефти по странам мира.
- Источник: cnn.com based on Ucube by Rystad Energy

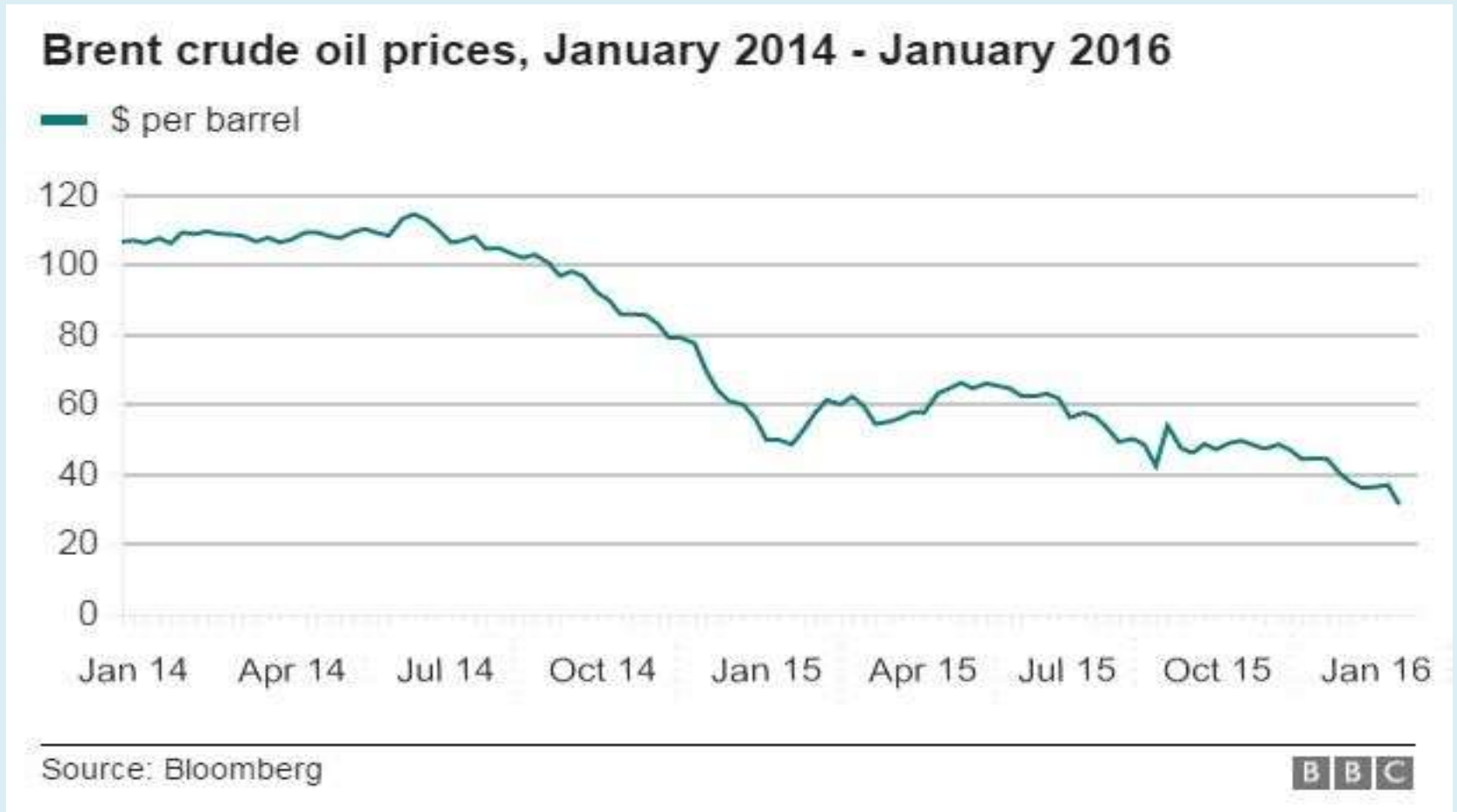


- График 2. График баланса спроса/предложения сырой нефти.
 - I квартал 2009- IV квартал 2016 гг.
 - Источник: Oil Market Report: 12 August 2015, www.iea.org

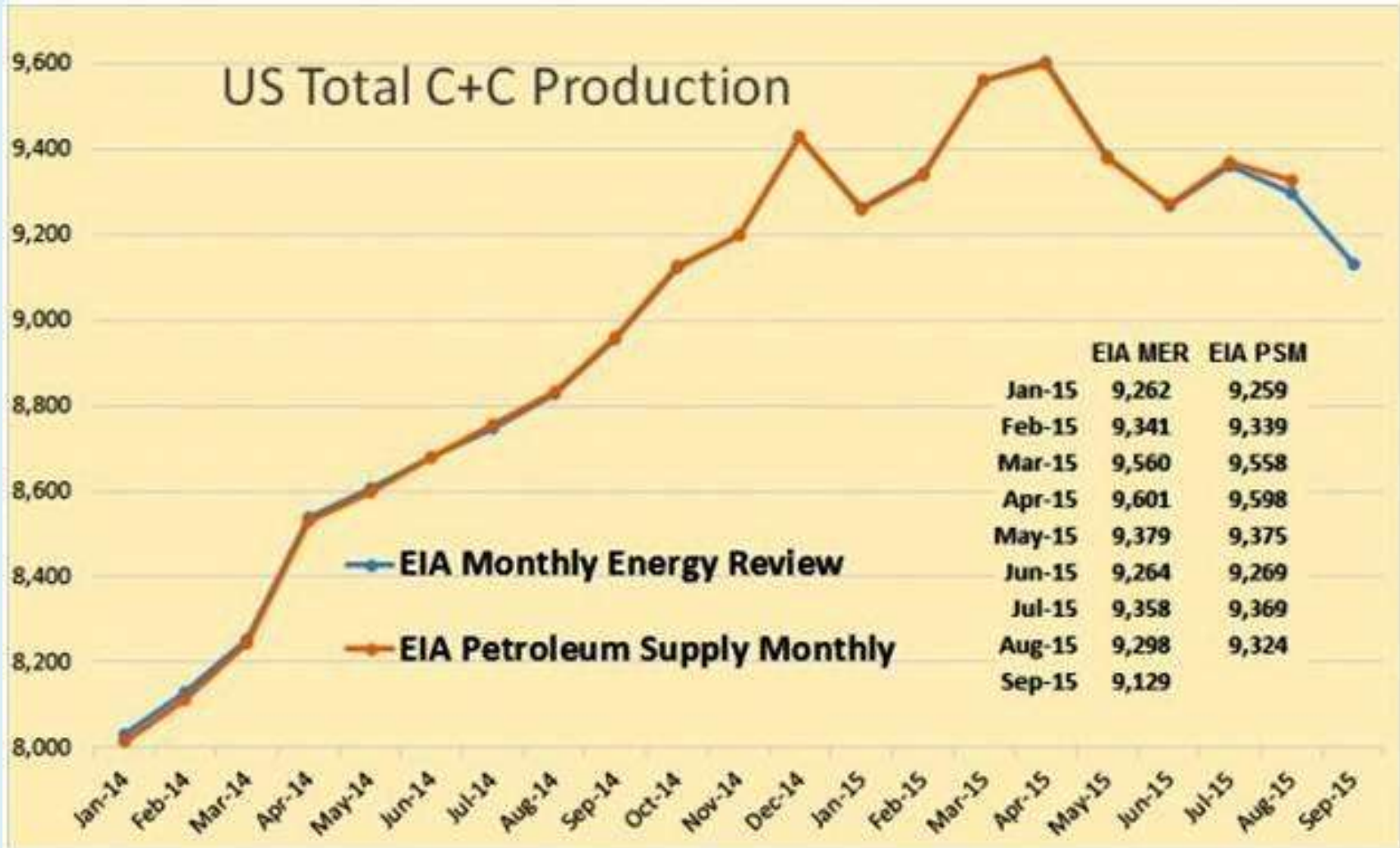


- График 3. "Факторы влияющие на изменение цен" демонстрирует наиболее значимые факторы, которые влияют на финальную себестоимость нефти. Некоторые факторы являются субъективными при изучении конкретных случаев, и на практике основываются на здоровом скептицизме при принятии решения в случаях инвестиций в проекты.
- (<http://www.marketwatch.com/story/bofa-merrill-lynch-cuts-2016-average-oil-forecast-to-45-a-barrel-2016-01-11>)

- Brent crude oil prices in the world . January 2014- January 2016



- График 4. Добыча нефти в мире. Январь 2014-Январь 2016



- График 5. Добыча Нефти, США. Январь 2014-Август 2015

Перспективными направлениями поиска и освоения нефтегазовых ресурсов представляются следующие:

Глубокозалегающие горизонты

Низкопроницаемые породы:
сланцы, бажениты, доманикиты

Шельф арктических и дальневосточных морей

Месторождения тяжелых высоковязких нефтей

Реанимация «старых» простаивающих скважин

Повышение КИН

Критерии оценки перспективных направлений являются:

Возможный прирост ресурсов (запасов)

Экономический фактор, учитывающий капитальные затраты (Cap Ex) и операционные затраты (Op Ex);

Экологический фактор

Технологический фактор

Социальный фактор, в т.ч. безопасность работ

ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИЕ ГОРИЗОНТЫ

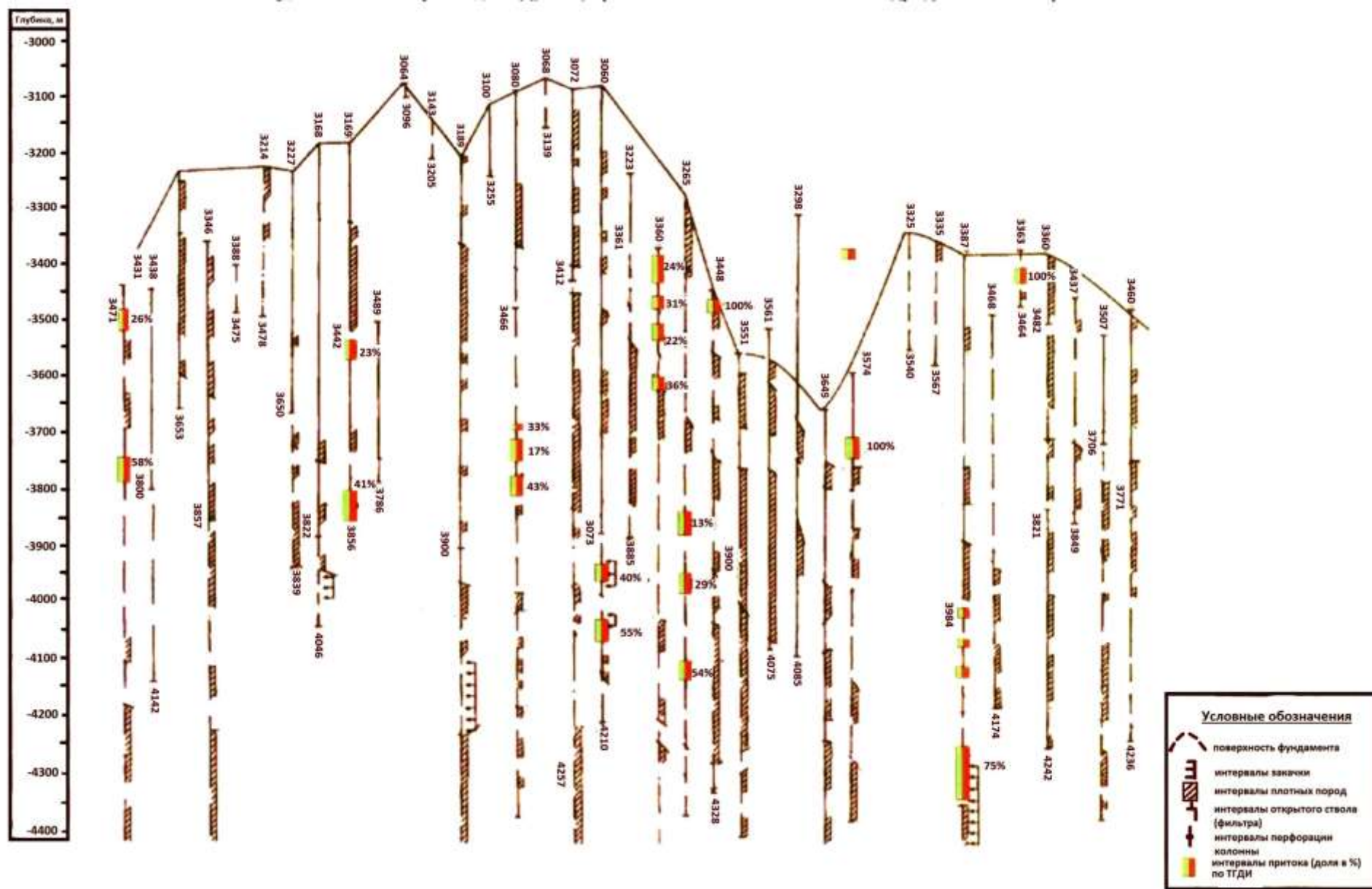


Рис.1. Микронеоднородность трещиноватого резервуара месторождения Белый Тигр, Вьетнам (данные сейсморазведки 3Д, промыслово-геологических и термогидродинамических исследований).

• (Из работы В.Л. Шустера).

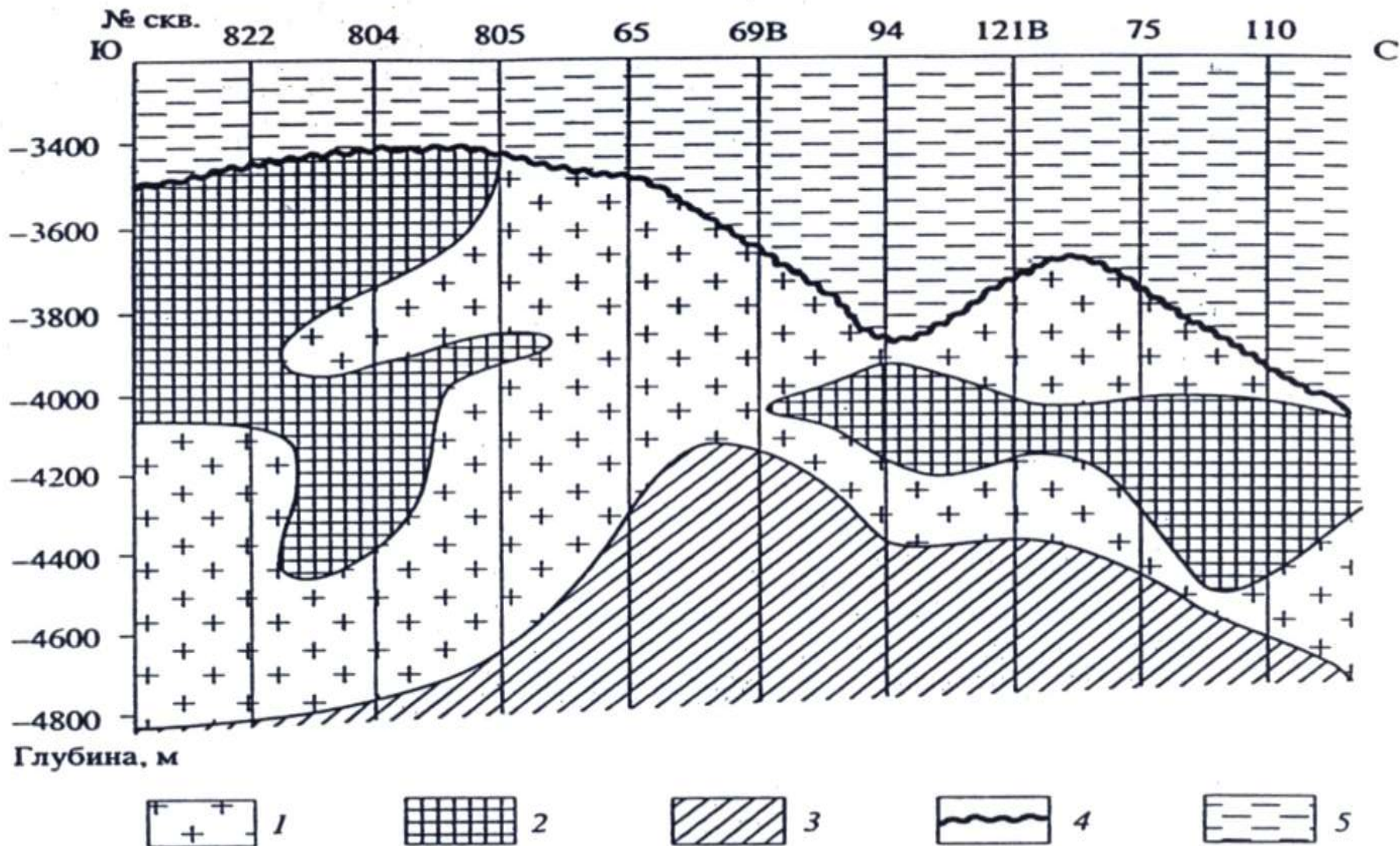


Рис.2. Схема распределения плотных (1), разуплотненных (с редкими притоками нефти, 2) и преобразованных с промышленными притоками нефти (3) пород фундамента месторождения Белый Тигр. 4 - поверхность фундамента, 5 - осадочные породы (Из работы А.Н. Дмитриевского).

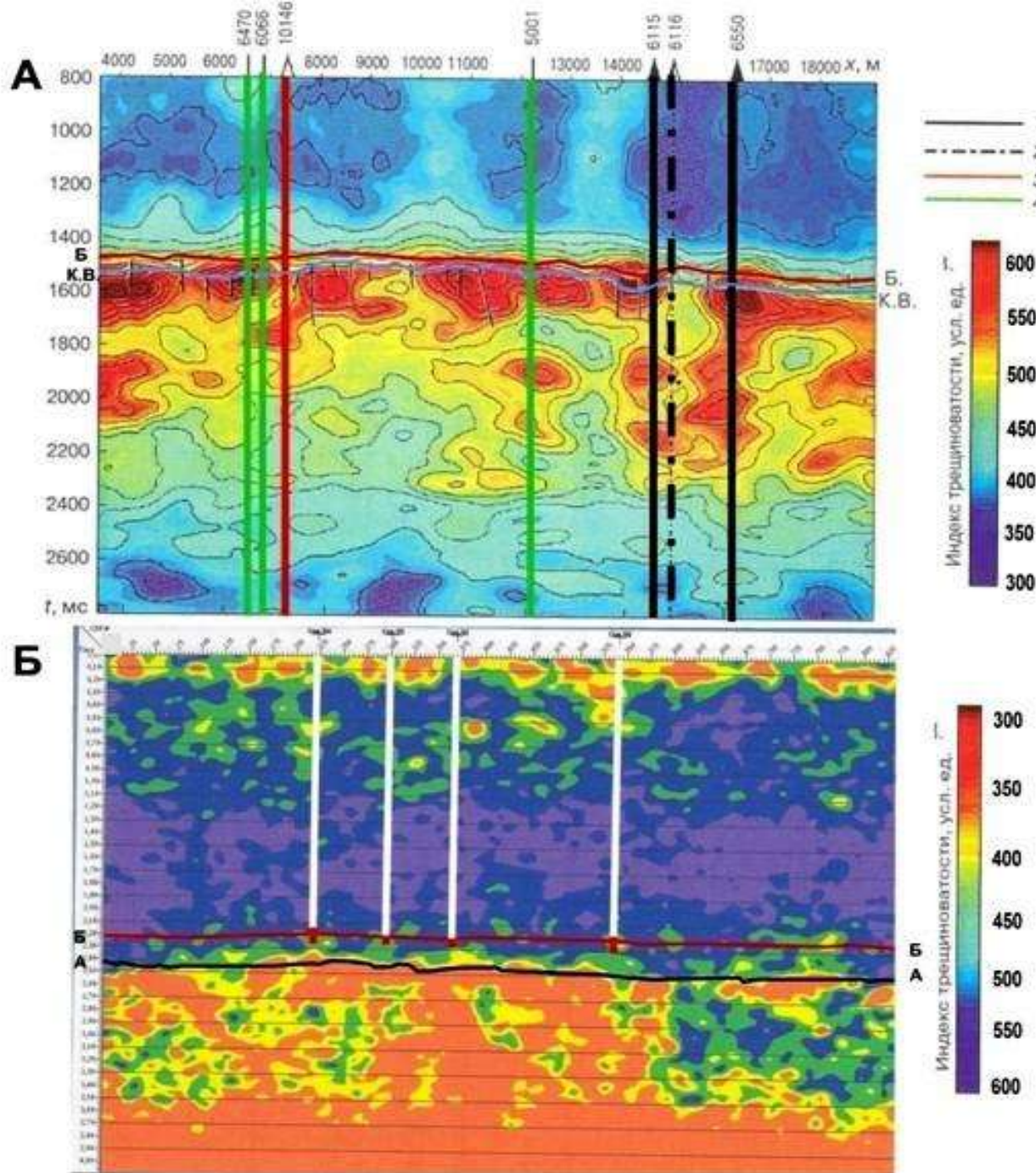


Рис.3. Картирование неоднородности фундамента (технология рассеянных волн сейсморазведки) на Северо-Даниловском (А) и Усть-Балыкском (Б) месторождениях.

- А - вертикальный разрез поля трещиноватости вдоль профиля с вынесенными скважинными результатами испытаний коры выветривания:
- 1-приток нефти; 2-пленка нефти; 3-сухо;
- 4-испытания не проводились (Ю.Л. Курьянов и др., 2008г.)
- Б - разрез энергии рассеянных волн, полученный методом волнового ОГТ (В.Н. Кремлев и др., 2008г.)

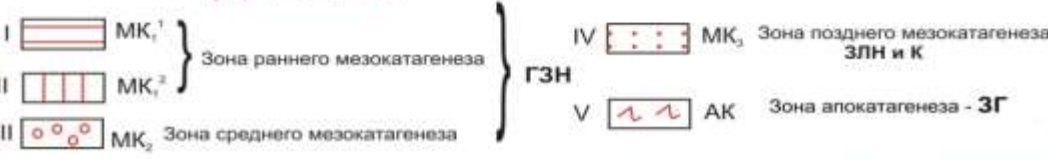
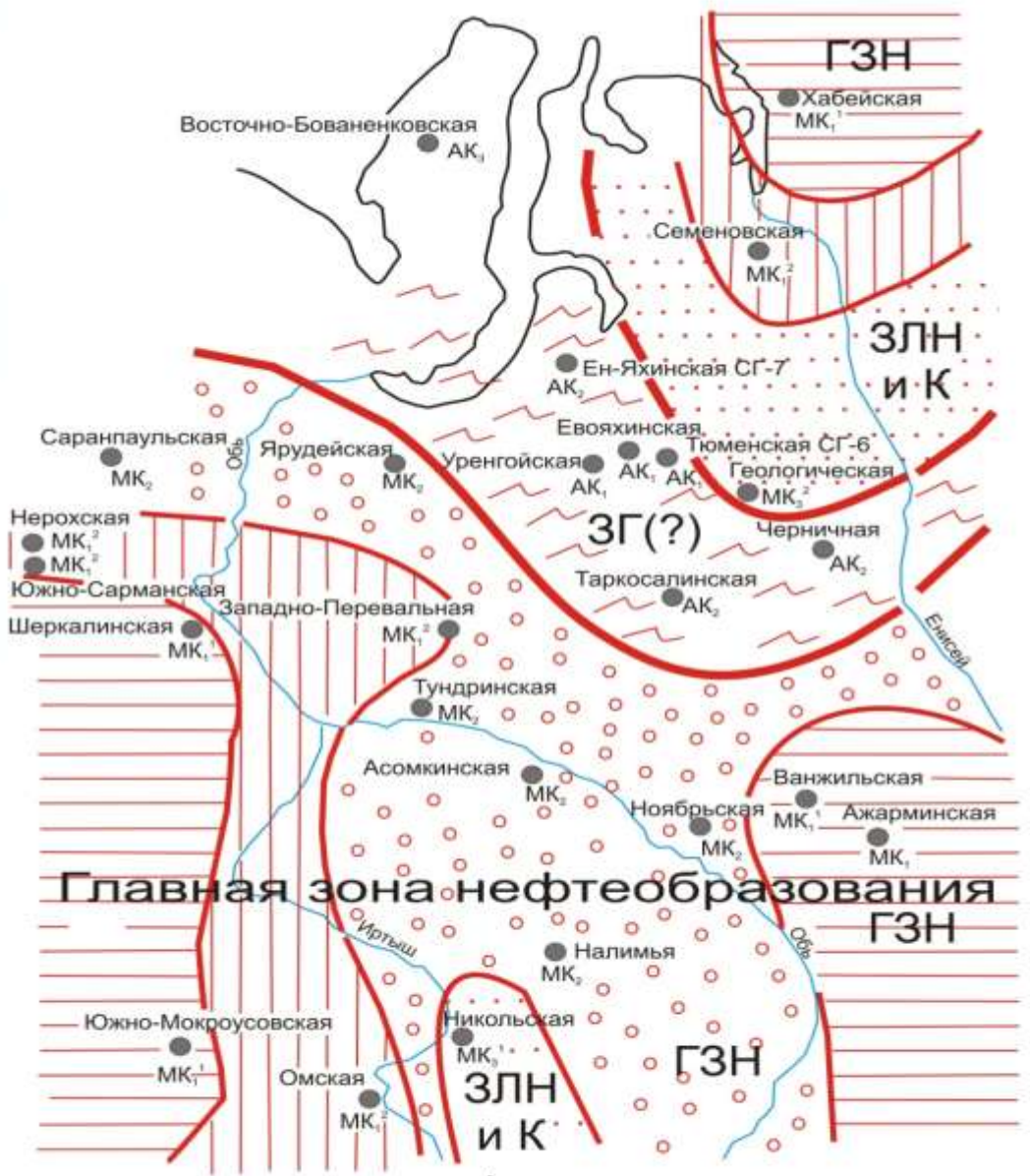


Рис.4. Схематическая карта зон нефтегазообразования: ГЗН – главная зона нефтеобразования; ЗЛН и К – зона легких нефтей и конденсатов; ЗГ – зона сухих газов (составлена на основе карты фактического материала по катагенезу ОБ в кровле осадочных отложений триаса Западно-Сибирского мегабассейна (А.Э. Конторович, А.Н. Фомин и др., 2008; А.Н. Фомин, 2011))

Детально проанализированные генерационные возможности доюрских образований в западной и центральной частях Западно-Сибирского бассейна (на основе фактических данных) свидетельствуют о благоприятных условиях для обнаружения нефтяных, нефтегазоконденсатных и газовых скоплений.

Оценивая условия проведения ГРП в глубокозалегающих горизонтах (палеозой+фундамент) Западной Сибири (глубины от 4 до 6-7 км), можно положительно охарактеризовать геолого-экономические условия (наличие коллекторов и флюидоупоров), наличие апробированных технологий и технических средств прогноза зон коллекторов и освоения залежей нефти в массивных породах, минимальные экологические потери, отсутствие проблем с трудовыми ресурсами, инфраструктурой и логистикой (транспортировкой нефти).

**НИЗКОПРОНИЦАЕМЫЕ
(НИЗКОПОРОВЫЕ)
ПОРОДЫ-КОЛЛЕКТОРЫ – ЭТО
СЛАНЦЫ, БАЖЕНИТЫ,
ДОМАНИКИТЫ, ХАДУМИТЫ И ДР.**

Месторождения углеводородов в глинистых коллекторах (использованы материалы Н.Н. Богданович, 2014)

- **Аргиллитоподобные породы**, в основном биогенного происхождения, широко распространены **во многих провинциях мира** (Россия, США, Монголия, Англия и др.) и приурочены к **различному возрасту**:
- **неогеновые** (верх.миоцен) породы форм. **Монтерей** м/р Санта-Мария Калифорн.бас;
- **неогеновые** (верх.миоцен) породы форм. **Энтрериенсе**, провинция Чубут, Аргентина;
- **нижнеогеновые** породы **пиленгской** свиты, Сахалин;
- **палеогеновые** (эоцен) породы форм. **Грин-Ривер** бассейна Скалистых гор;
- **палеогеновые** (олигоцен) породы **баталпашинской** и **хадумской** свит Восточного Предкавказья;
- **верхнемеловые** породы формации **Пьерре** и **Ниобрара** бассейна Скалистых гор;
- **верхнеюрские** породы **баженовской** свиты Западно-Сибирского бассейна;
- **верхнеюрские** породы формации **Хейнсвилл** ;
- **верхнеюрские** породы «кimmerиджские глины» Северного моря;
- **нижнетриассовые** породы форм. **Монтней** Канада, провинция Британская Колумбия и Альберта

Месторождения углеводородов в глинистых коллекторах

- **верхнепермские** породы форм. **Огайо** Предаппалачского бассейна;
- **нижнекарбоновые** породы формации **Барнетт** бассейна Форт-Уорт;
- **верхнедевонские** породы **доманиканской** свиты Волго-Уральского и Тимано-Печорского бассейна;
- **верхнедевонские** породы форм. **Баккен** м/р Антелоун , Уиллистонского бассейна;
- **среднедевонские** породы форм. **Марцеллус** Предаппалачского бассейна (Пенсильвания, Верджиния – США; Онтарио – Канада);
- **среднедевонские** породы форм. **Хангерсвилл** (Западная Вирджиния и Пенсильвания);
- **среднедевонские** породы форм. **Энтрим** Предаппалачского бассейна;
- **среднедевонские** породы форм. **Нижний Гурон** Предаппалачского бассейна;
- **среднедевонские** породы форм. **Хорн Ривер**, Канада, Британская Колумбия;
- **ордовикские** породы форм. **Биг-Форн** (Оклахома);
- аргиллитоподобные породы форм. **Араб** Аравийско-Иранского бассейна;
- аргиллитоподобные породы форм. **Ла Луна** в Маракайбо Венесуэльский залив Карибского бассейна;
- аргиллитоподобные породы форм. **Ханифа и Тувайк**, Персидский залив .

Перспективные глинистые толщи по данным сейсморазведки и морского бурения

- **позднеюрско-раннемеловой** возраст:
 - - в северной части Северного моря выделяется глинистая
 - формация Клэй с содержанием Сорг= 6–9 %,
 - - в Норвежском бассейне – формация Янусфьеллет,
 - - в норвежской части Баренцева моря – формация Хеккингея.
- **верхнеюрский** возраст (от волжского до киммериджского ярусов)
 - - в российской части Баренцева моря - формация черных
 - битуминозных глин и кремнисто-глинистых пород, с
 - содержанием Сорг=10–17 %.
 - мощность достигает первых десятков метров.

СЛАНЦЫ

- Сланцы – это породы смешанного литологического состава, состоящие из алевритовой и пелитовой фракции, обладающие сланцеватостью, а также высоким содержанием Сорг.
- Проницаемость сланцев ниже 1 мД (минимум 0,01-0,001 мД).
- Для сланцевых нефтей и газов характерны резкая неравномерность насыщения толщи. Участки аномально газо- и нефтенасыщенных зон приурочены к наиболее трещиноватым зонам (сладкие пятна или места) сланцевого комплекса, с аномально высокими пластовыми давлениями и температурами и повышенными первоначальными дебитами.
- Основные сложности при изучении сланцевых формаций следующие: отсутствие четкого представления о модели продуктивного пласта, типе коллектора, характере газонефтенасыщенности; разнообразный литологический состав сланцев и резкоизменчивая характеристика ФЕС пород; отмечаются низкий КИН и низкие дебиты скважин; добыча нефти и газа ведется путем мультестадийного гидроразрыва в наклонно-горизонтальных скважинах; для одной операции ГРП требуется порядка 4000 т воды и 200т песка, в одной скважине производится от 3 ГРП (в среднем) до 10 ГРП, быстрое снижение объемов добычи заставляет постоянно увеличивать количество скважин.
- КИН для сланцевых пород США находятся в диапазоне 3-6%, иногда снижаясь до 2% и повышаясь до 8%.

Рис.5 Различные литологические и пластовые условия

1. Сланцы Haynesville

- Низкое содержание кварца
- Высокое и переменное содержание глин и карбонатов
- Высокое давление

2. Сланцы Barnett

- Высокое содержание кварца
- Низкое и умеренное содержание карбонатов
- Среднее давление

3. Сланцы Marcellus

- Среднее содержание кварца
- Высокое содержание глин,
- Низкое содержание карбонатов
- Переменное давление

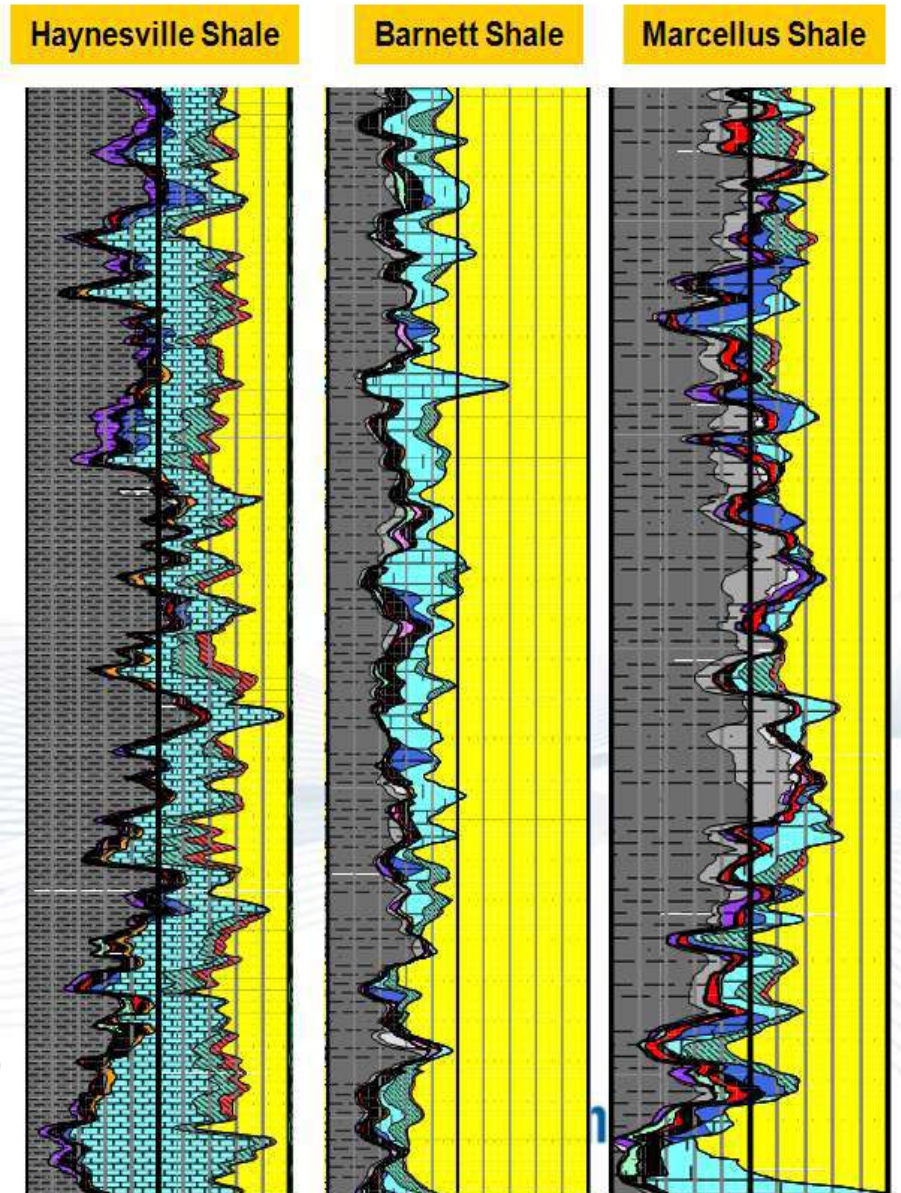
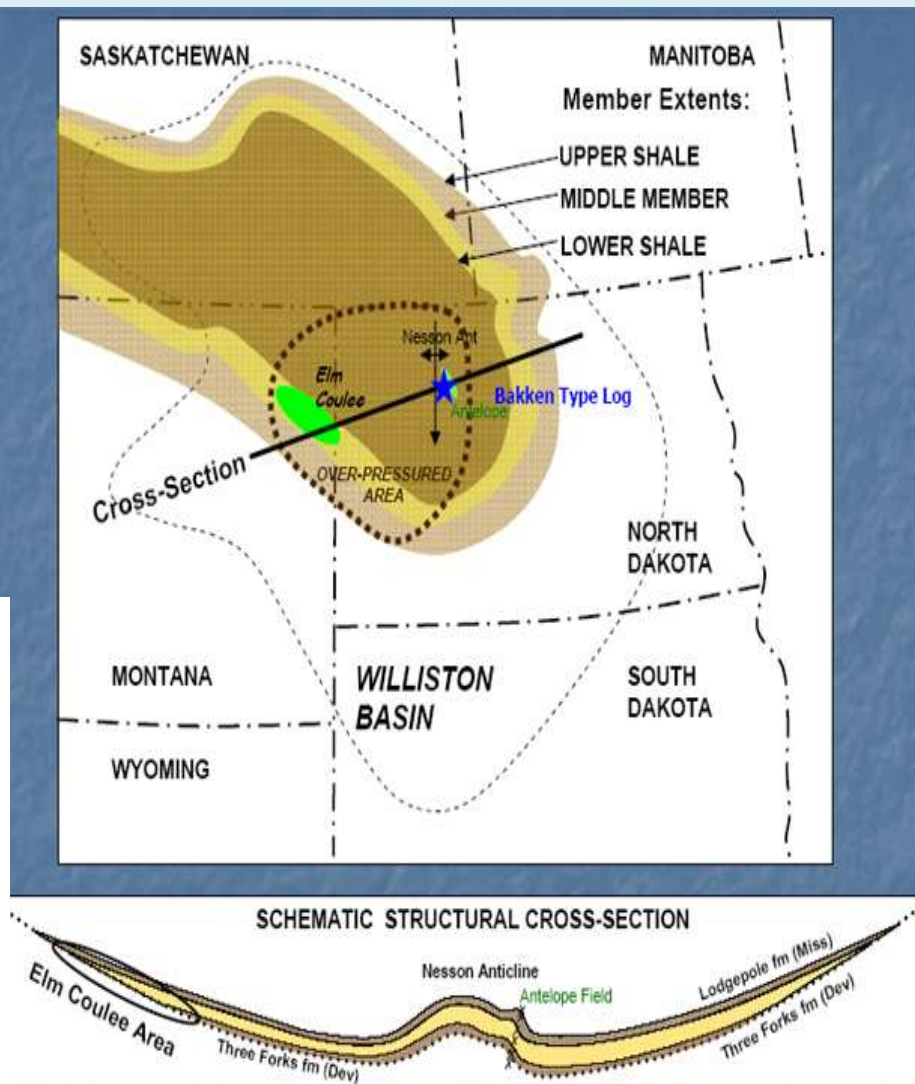


Рис. 6 Верхний девон, известково-кремнисто-глинистая порода формации Баккен м/р Антелоун Уиллистонского бассейна «жирные сланцы»

Согласно отчёту геол. службы США на 2008 в отложениях **Bakken** содержится от **3 до 4.3 млрд. баррелей нефти**.

Добыча фактически составляет **1 % от всей нефти в залежи**.

Вывод: очевидно, что отложения Bakken **неправильно эксплуатируются**.



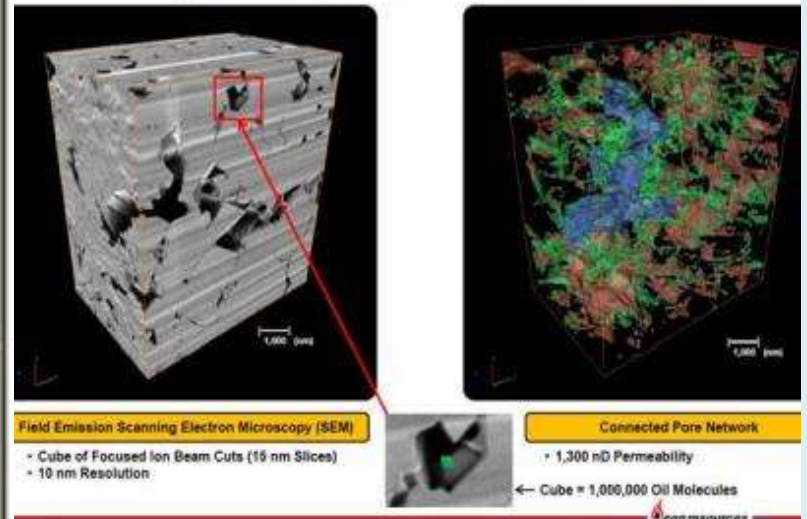


Source: U.S. Energy Information Administration Post-Gazette

Неогеновые (верх.миоцен)
 аргиллитоподобные породы
Монтерей, Калифорнийский бассейн,
 США, «жирные сланцы»

Средний девон, аргиллитоподобные
 породы,
Eagle Ford, Техас, США, «жирные
сланцы»

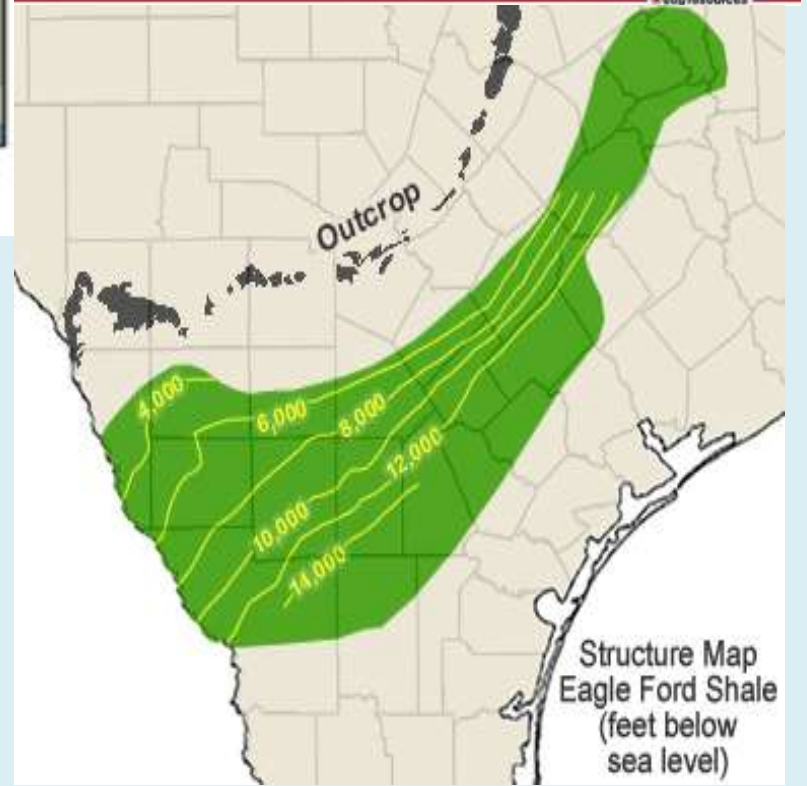
EOG Resources Eagle Ford Reservoir at Nano-Scale



Field Emission Scanning Electron Microscopy (SEM) Connected Pore Network

• Cube of Focused Ion Beam Cuts (10 nm Slices)
 • 10 nm Resolution

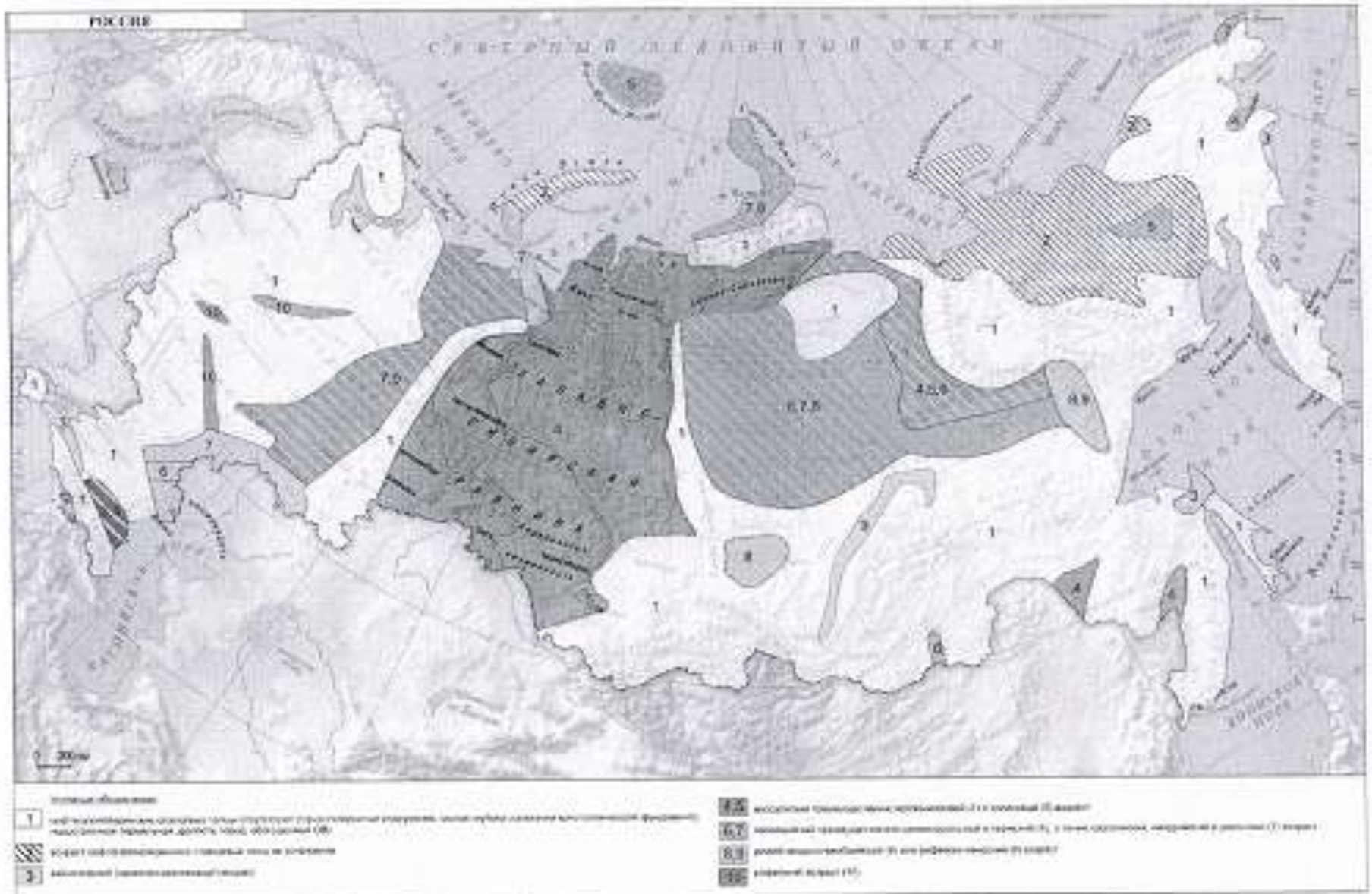
• 1,300 mD Permeability
 ← Cube = 1,000,000 Oil Molecules



Structure Map
 Eagle Ford Shale
 (feet below
 sea level)

Рис.7

В России О.М. Прищепой и др. (2014) выделен ряд перспективных сланцевых бассейнов: Колымо-Омолонский (палеозой-триасовые формации), площадью 800 тыс. км², при средней толщине обогащенных ОВ сланцев 20м, с условным содержанием нефти 1 кг/м³ породы; объем технически извлекаемых ресурсов составил: нефти 8 млрд т, газа 8 трлн м³, 16 млрд т в н.э.; Тунгусский (рифей-палеозойские толщи), технически извлекаемые ресурсы нефти 8 млрд т, газа 8 трлн м³, 16 млрд т в н.э; Нелькано-Сетт-Дабанский – 2,0-4,0 млрд. т нефти; Енисей-Хатангский –1,5-2,5 млрд. т нефти. Однако, отсутствие разработанных технологий и технических средств, а также значительная удаленность перспективных бассейнов от центров добычи и трубопроводов, развитой инфраструктуры и трудовых ресурсов предполагает освоение сланцевых ресурсов в этих бассейнах в среднесрочной перспективе



БАЖЕНИТЫ

- Нефть в баженовской свите открыта в 1967 г. на Верхне-Салымском месторождении Западной Сибири, разработка начата в 1974 г.
- По опубликованным данным (центр В.И.Шпильмана) в Югре (Западная Сибирь) в настоящее время в бажене открыто 135 залежей нефти и газа на 54 месторождениях. По данным «Ритек» суммарные геологические ресурсы баженовской нефти оцениваются от 0,8 до 2,1 трлн.т. По вероятностной количественной оценке [А.Э. Конторович, 2014] в районе распространения баженовской свиты в Западной Сибири (площадь более 1 млн. км²) сосредоточено 150-500 млрд.т геологических ресурсов нефти, в том числе в «высокоёмких» коллекторах 120-400 млрд.т, при условно принимаемом для бажена коэффициенте извлечения нефти 0,15 извлекаемые ресурсы составляют 18-60 млрд т.

Группа	Система	Возраст			Свита			
		Отдел	Ярус	Индекс				
Мезозойская	Меловая	верхнемеловой	Маастрихтский	K ₂ m	верхний нижний	Ганькинская		
			Кампанский	K ₂ cp	верхний нижний	Березовская		
			Сантонский	K ₂ s	верхний нижний			
			Коньяльский	K ₂ cn	верхний нижний	Кузнецовская		
			Туронский	K ₂ t	верхний нижний			
			Сеноманский	K ₂ c	средний нижний			
		нижнемеловой	Альбский	K ₁ al	верхний средний нижний	Покурская		
			Аптский	K ₁ a	верхний средний нижний	Алымская		
			Барремский	K ₁ br	верхний нижний	Сангопайская		
			Готеривский	K ₁ h	верхний нижний			
			Валанжинский	K ₁ v	верхний нижний	Усть-Балыкская		
			Берриасский	K ₁ b	нижний	Сортымская		
			Юрская	верхнеюрский	Титонский	J ₃ t	верхний средний нижний	Баженовская
					Кимериджский	J ₃ km	верхний нижний	
	Оксфордский				J ₃ o	верхний средний нижний		
	среднеюрский			Келловейский	J ₂ k	верхний средний нижний	Абалакская	
		Батский		J ₂ bt	верхний средний нижний			
		Байосский		J ₂ b	верхний нижний			
		Ааленский		J ₂ a	верхний нижний			
	нижнеюрский	Тоарский		J ₁ t	верхний нижний	Тюменская		
		Плинтобохский		J ₁ p	верхний нижний			
		Синемурский		J ₁ s	верхний нижний			
		Геттангский		J ₁ h	верхний			
					Шеркалинская			
					? Ягельская			
				? Бярговая				

Рис.9 Стратиграфия Западно-Сибирского MZ-KZ месторождения

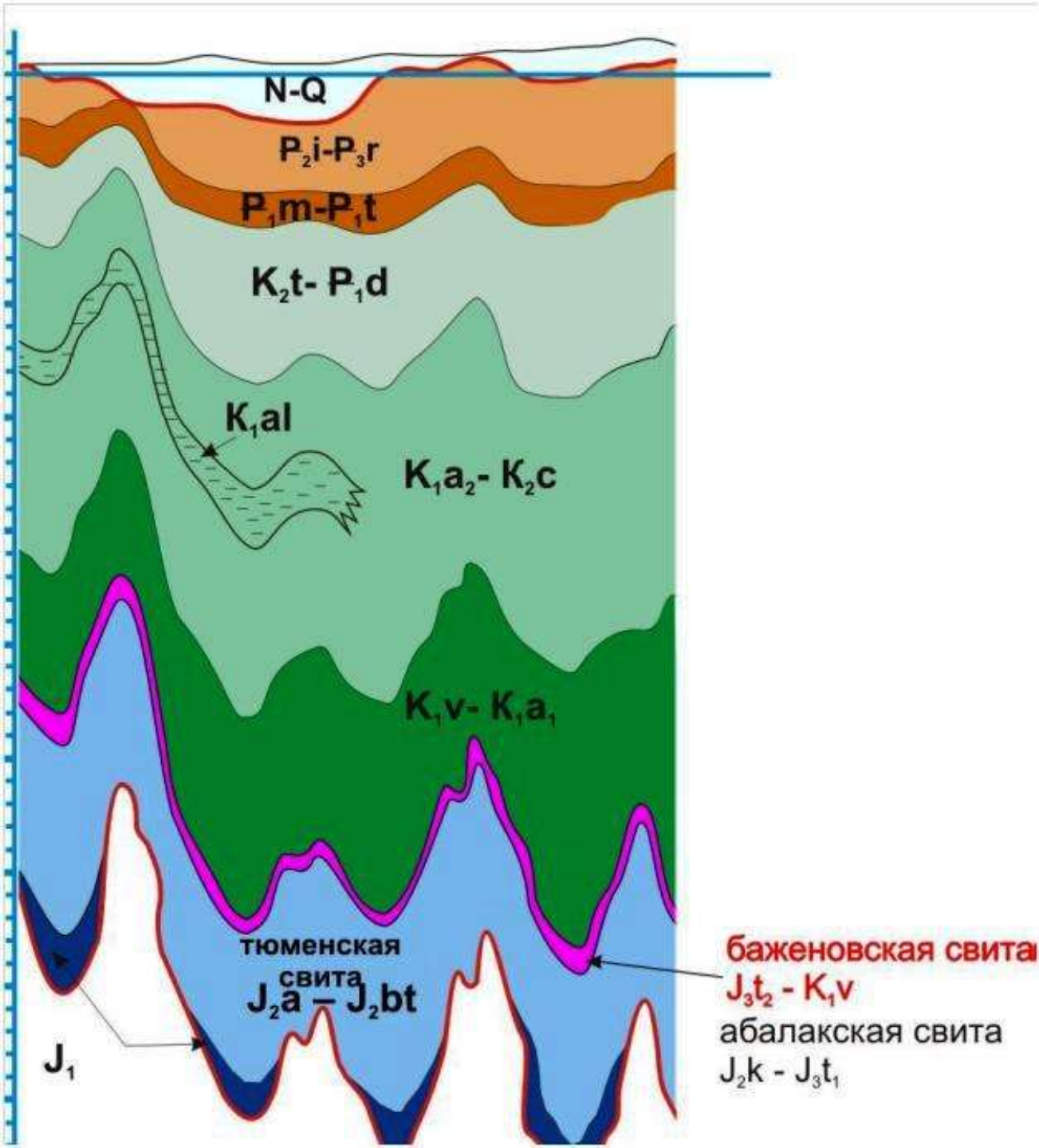
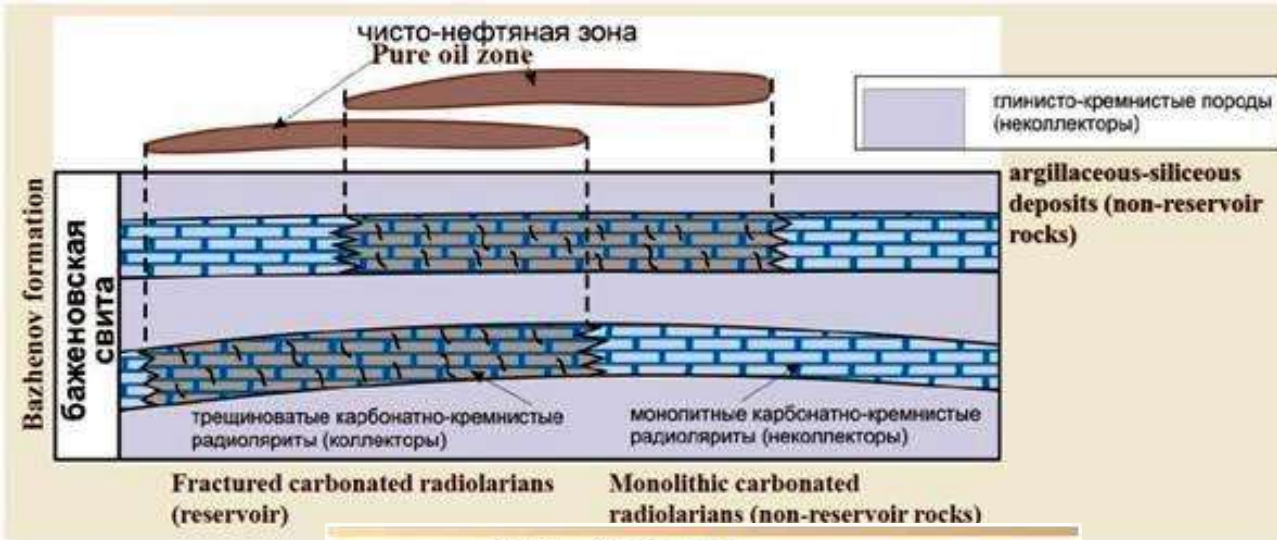
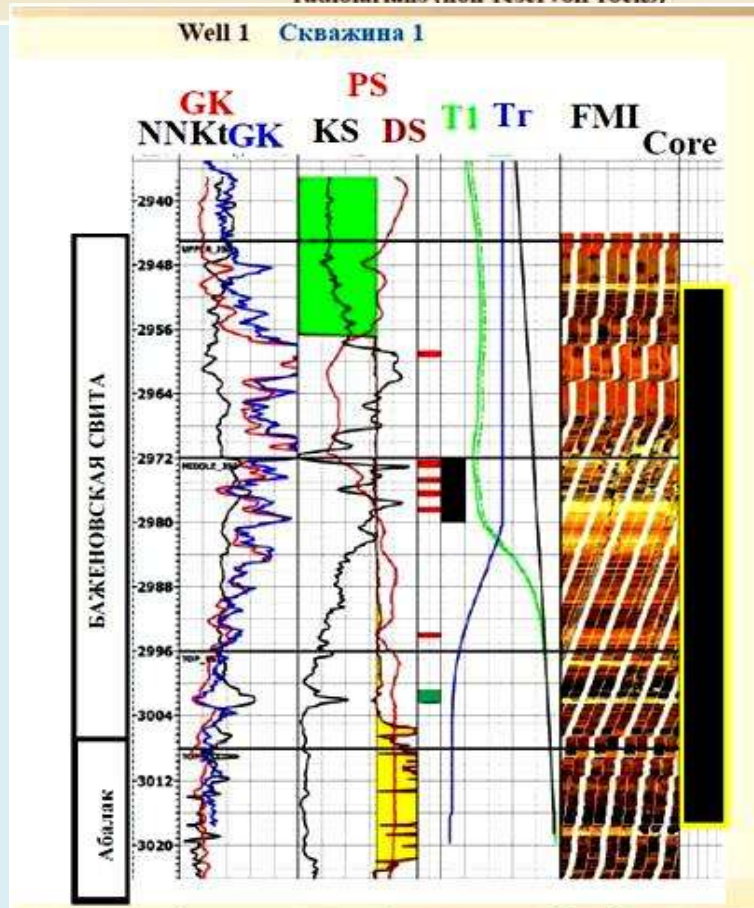


Рис.10.
Схематическое
поперечное сечение
Западно-
Сибирского МZ-KZ
месторождения

• Источник: В.Д. Немова



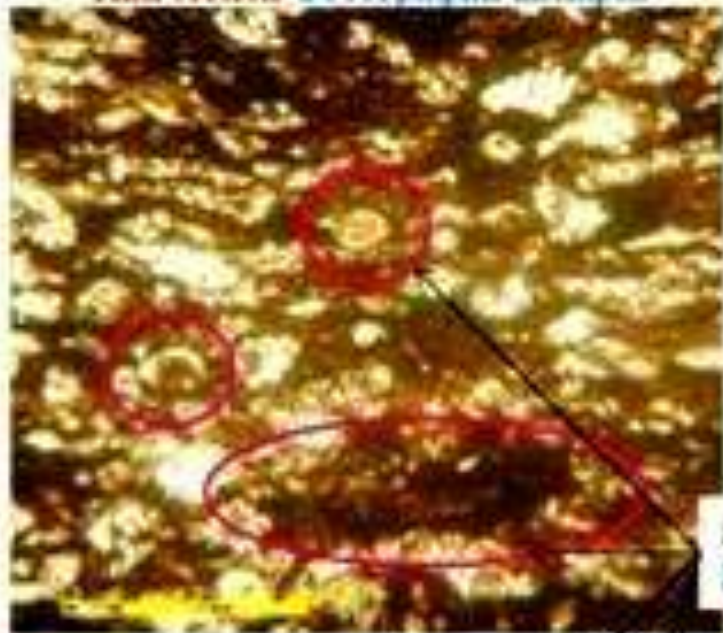
- Рис.11. Уникальные свойства отложений базеновской свиты



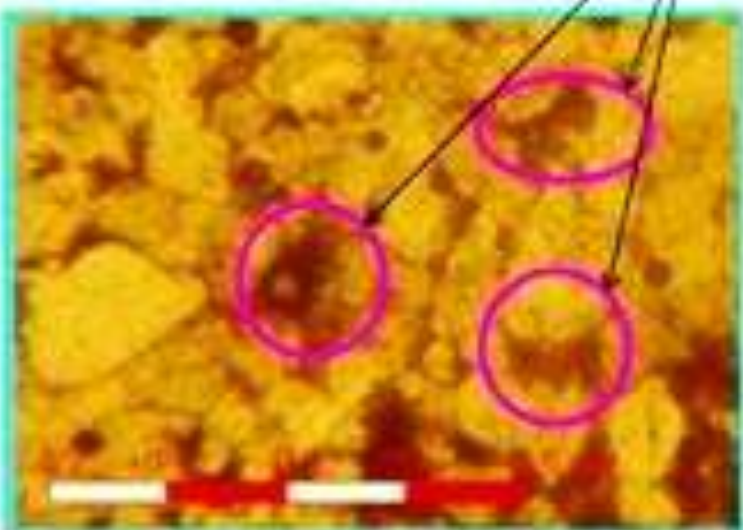
- Рис.12. Пример изученности скважин базеновской свиты

Источник: В.Д. Немова

Thin section Фотография шлифа



Рого
Пустоты



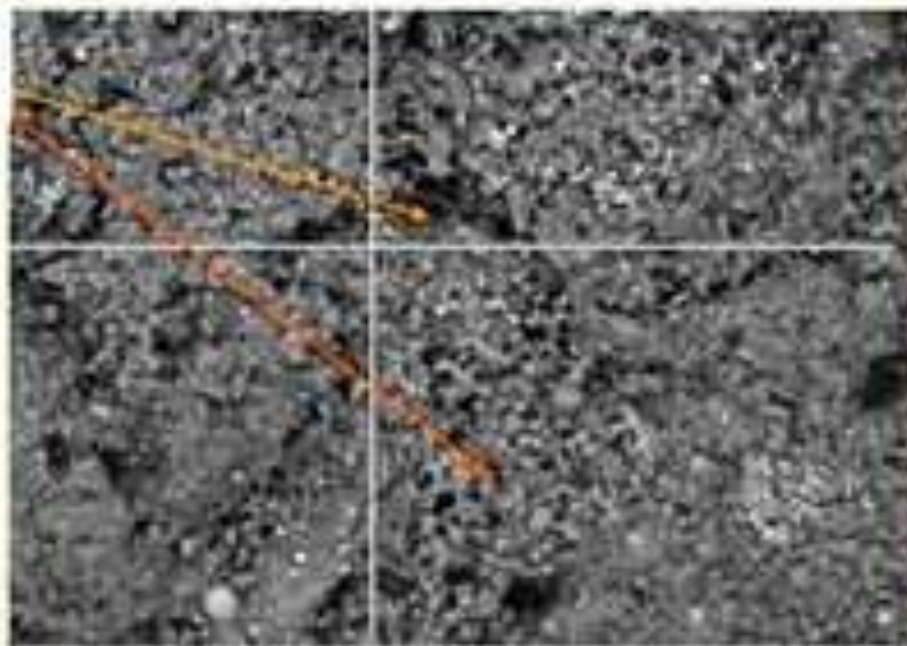
Reservoir type is fractured-porosity
Коллектор трещинно-порового типа

Reservoir formed by:

- Capacity caused by secondary transformations;
- Fractures

Коллектор формируется за счет:

- вторичной емкости, появившейся при вторичных преобразованиях;
- растрескивании хрупких слоев размоляритов (автофлюидолизис, тектонический фактор)



L 03.2 x1.0k 100 um

Рис.13 Выявление коллекторов геохимическими методами

• Источник: В.Д. Немова

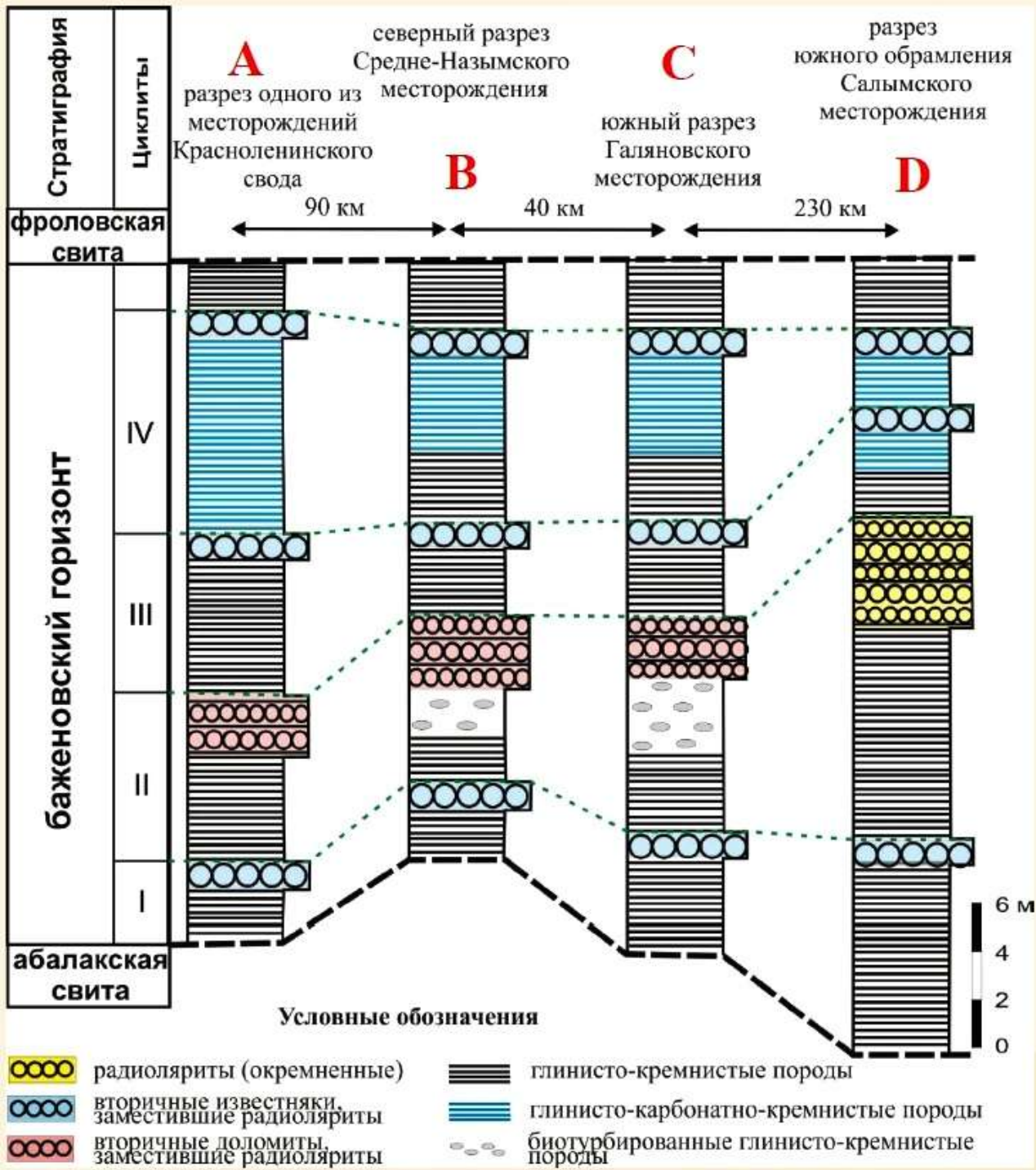
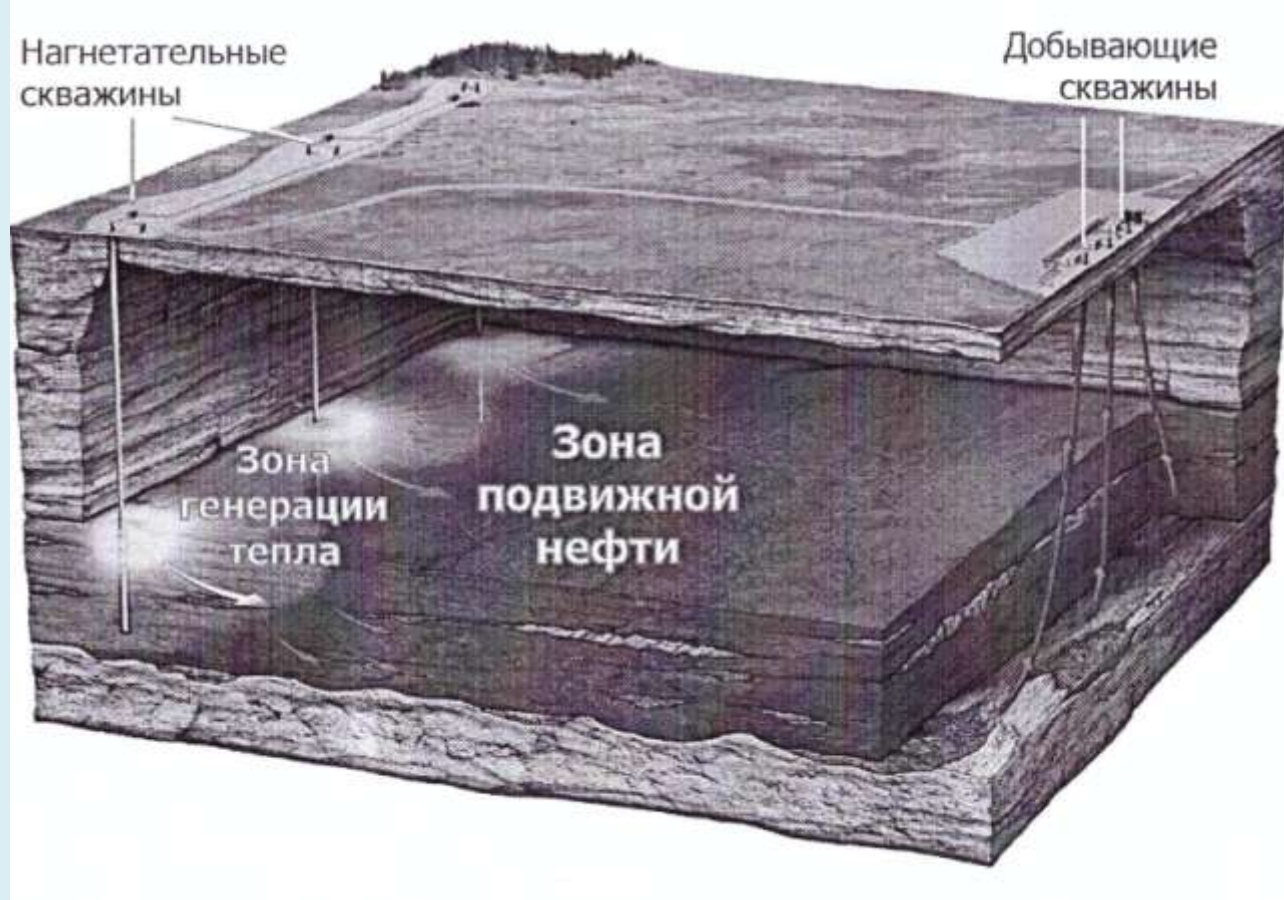


Рис.14 Изменчивость разреза баженовской свиты на площади

Источник: В.Д. Немова

- Практика разработки Баженовской свиты на месторождениях ОАО «РИТЭК» показывает, что без использования специальных методов общий КИН не превышает 8% (в среднем, 2-3%);
- Потенциал прироста извлекаемых запасов нефти из керогена за счет внедрения метода термогазового воздействия оценивается в 35-50 млрд. т., что превышает запасы традиционной нефти в РФ;
- Метод заключается в закачке в пласт под давлением водовоздушной смеси и ее нагреве до 350°C;



- В пласте образуется и продвигается тепловой фронт, разогревающий нефтематеринскую породу, в результате чего:
 1. нефть полностью вытесняется из высокопроницаемых пропластков Баженовской свиты и частично из низкопроницаемых зон
 2. часть нефти извлекается из керогена за счет пиролиза и самопроизвольного формирования локальных очагов горения в пласте

Рис.15 Технология испытывалась в течение нескольких последних лет на месторождении **Виноградова, Средненазымском и др.**

- По ресурсному потенциалу УВ, по инфраструктуре и трудовым ресурсам региона, по наилучшей экономической эффективности среди новых направлений ГРР, отложения баженовской свиты в Западной Сибири являются, безусловно, приоритетным объектом прироста ресурсов и запасов нефти (газа), где в ближайшей и среднесрочной перспективе необходимо сосредоточить основные объемы ГРР, с целью прироста запасов и повышения уровня добычи нефти.

ДОМАНИКИТЫ

- Перспективные на нефть и газ доманиковые отложения позднего девона распространены на территории Европейской части России (в Тимано-Печорской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинциях). Площадь их распространения 236,5 тыс. км², эффективная мощность отложений 30 м, ресурсы газа 457 млрд м³ [О.М. Прищепа и др., 2014]. Доманик представлен кремнисто-глинисто-карбонатными породами. Это породы с низкой проницаемостью (1,5-2мД), занимают обширные территории, глубины залегания изменяются от первых метров в Ухтинском районе до 4500 м в Предуральском прогибе. О.М. Прищепой предложен методический подход к выделению перспективных объектов и оценке их потенциала. Он основан на количественной оценке катагенеза ОВ и учете интервалов разреза с сингенетичными и эпигенетичными битумоидами (миграционной нефтью), а также на оценке плотности генерации и эмиграции УВ с учетом значений пиролиза на начало катагенеза. Освоение нефти и газа в доманиковом комплексе, по-видимому, следует отнести ко второй очереди по приоритетности, после баженовской свиты и глубокозалегающих горизонтов.

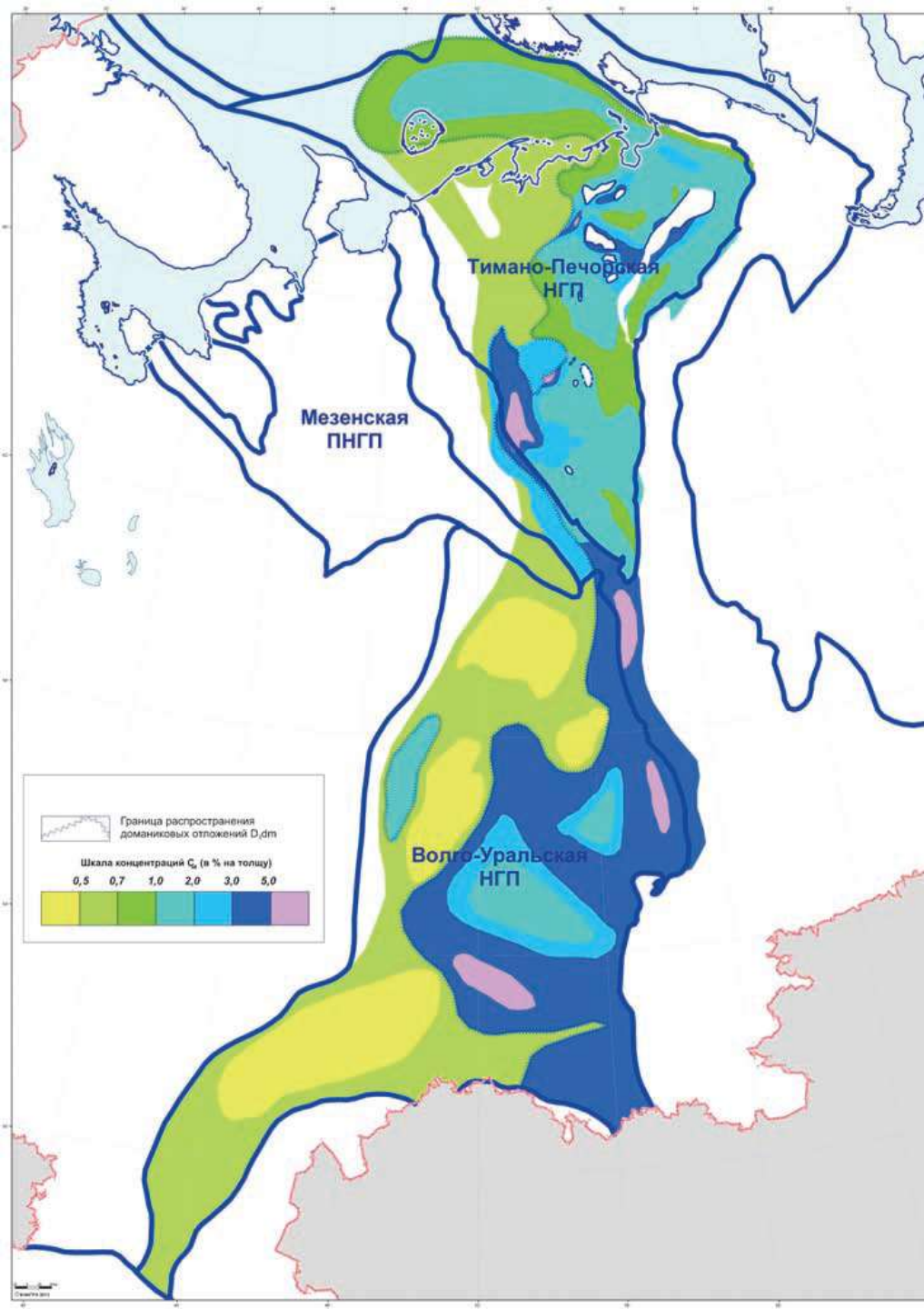


Рис.15 Карта распространения додевонских (сланцевых) отложений в восточной части Восточно-Европейской платформы (ФГУП «ВНИГРИ», 2013)

Источник: О.М. Прищеп, О.Ю. Аверьянова, А.М. Жарков

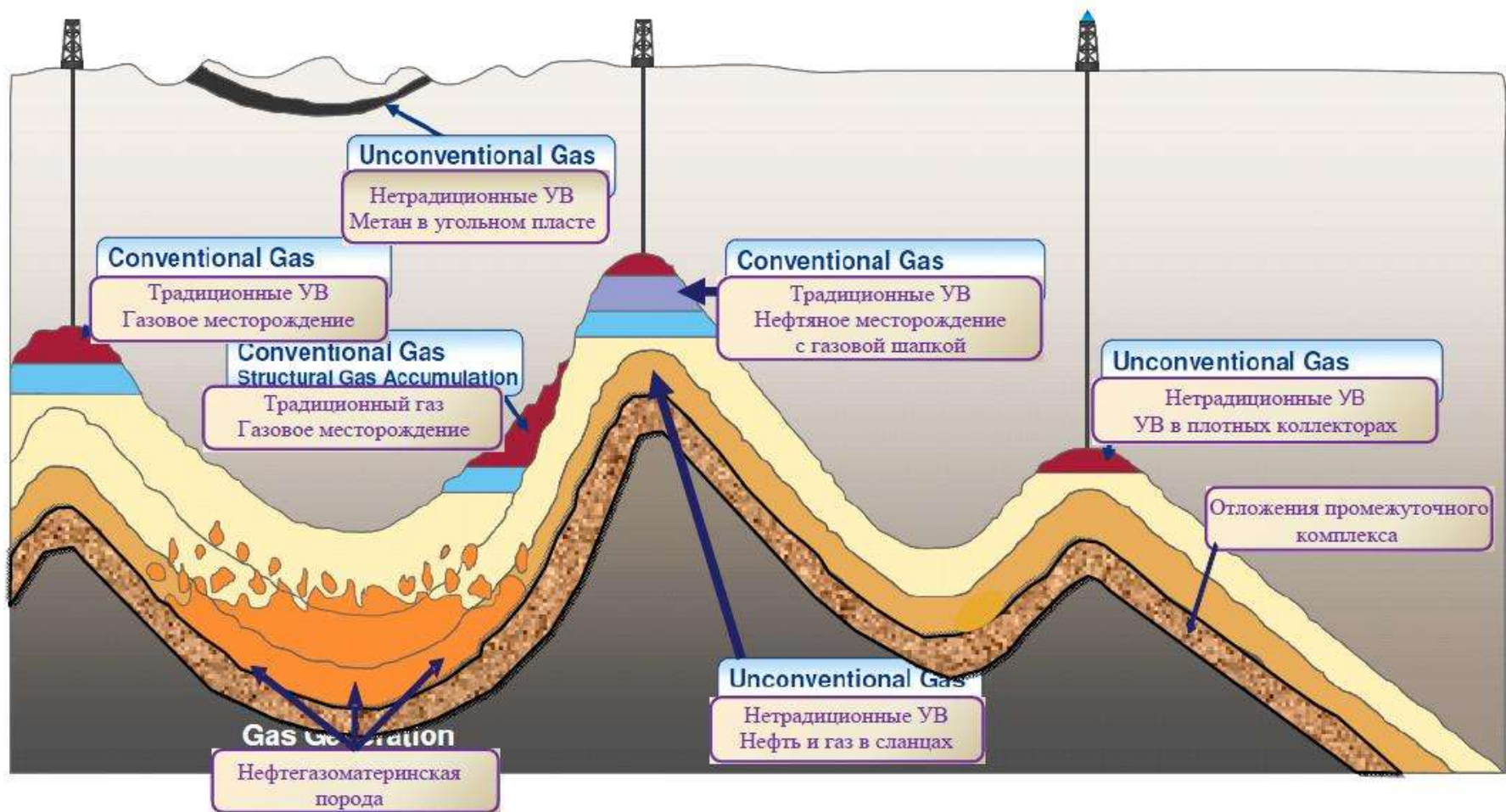


Рис.16 Схема традиционных и нетрадиционных скоплений УВ Доманиковые отложения в Волго-Уральской провинции (Пермский край) – клиноформы (литологически экранированные ловушки)

- (Из работы С.Н. Кривощекова и др., 2013).

ШЕЛЬФ И ГЛУБОКОВОДНЫЕ ВПАДИНЫ АРКТИЧЕСКИХ, ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ И ЮЖНЫХ МОРЕЙ

- По прогнозным ресурсам нефти и газа это направление занимает неоспоримое первое место. В России по оценкам находится 41 % всех технически извлекаемых мировых ресурсов арктической нефти и 70 % газа. Также хорошо известны и обстоятельства, осложняющие освоение этих ресурсов. Первое – это отсутствие эффективных отечественных технических средств и технологий проведения ГРП, включая добычу УВ в морских ледовых, в том числе, подводных и подледных условиях. Второе – это экономические условия и не только операционные затраты (OpEx) на добычу нефти и газа, но и высокие капитальные расходы (CapEx). Кроме того, осложняют проведение работ на арктическом шельфе России суровый климат, неразвитая инфраструктура, проблемы экологии и безопасности работ.
- Признавая морское, в первую очередь, арктическое направление ГРП приоритетным в среднесрочной перспективе мы опираемся, во-первых, на значительные ресурсы газа и нефти, особенно после открытия нефтяной залежи в юрских отложениях на площади Университетская – месторождение Победа в Карском море. Локальных ловушек, подобных месторождению «Победа», на восточном Новоземельском шельфе порядка 30. Во-вторых, необходимостью стимулировать создание отечественных технологий и технических средств для проведения работ в арктических ледовых морских, в том числе, подводных и подледных условиях. В третьих, возможно, это самое главное, создание береговой и морской инфраструктуры, которое должно дополнительно обеспечить геополитические интересы и обороноспособность нашей страны с северного и северо-западного направлений.

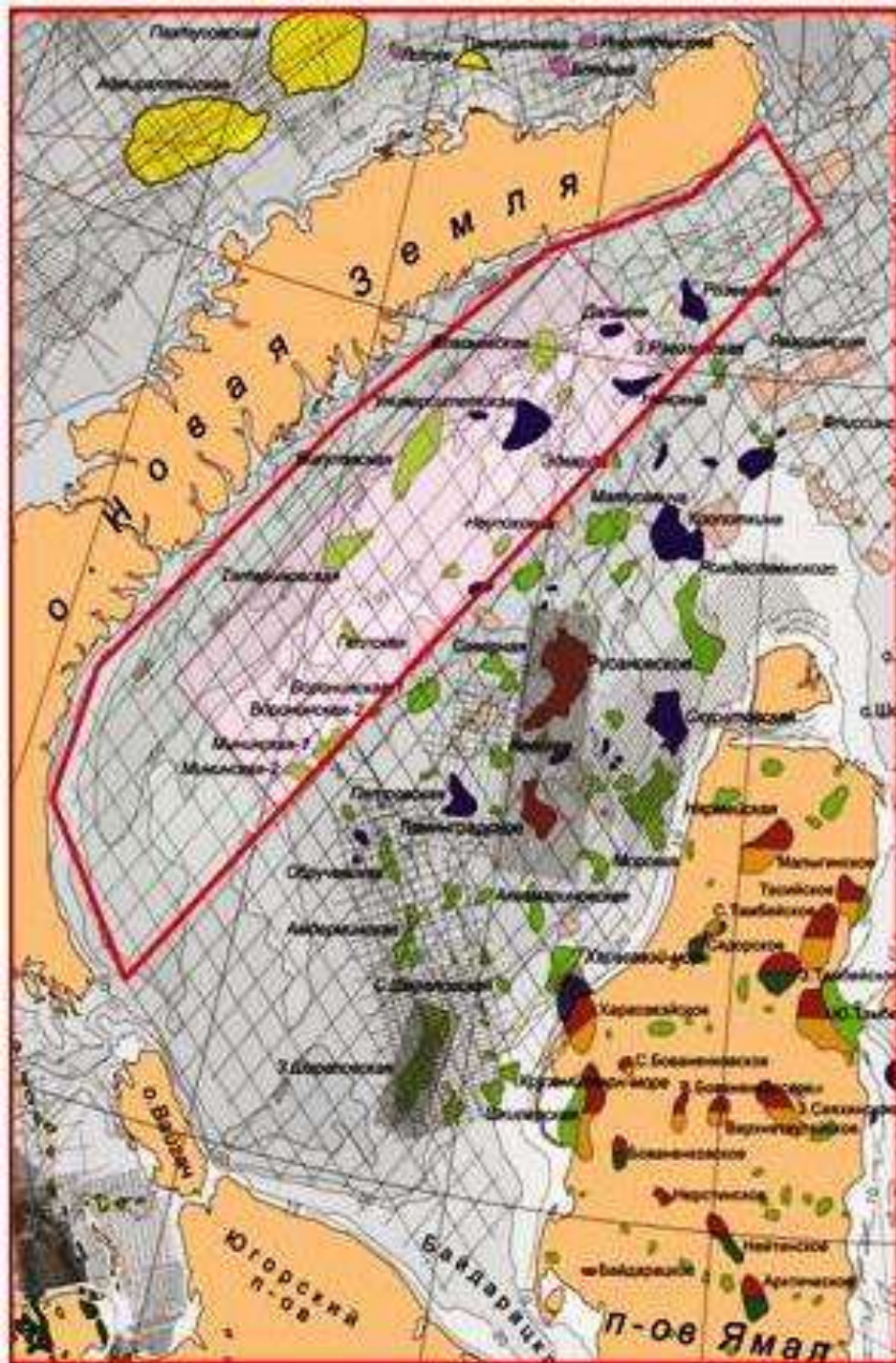


Рис.17
Тектоническая
схема Карского
моря



• ВЫВОДЫ

- **1. Для обеспечения прироста ресурсов углеводородов в России необходимо создать новые технологии и отечественные технические средства для работы со сложными (низкопроницаемыми, низкопоровыми) породами-коллекторами (баженитами, доманикитами, сланцами и др.), для повышения КИН и КИГ, для освоения месторождений тяжелых высоковязких нефтей, для обеспечения отечественным оборудованием проведения ГРП в арктических морях.**
- **2. Приоритетным направлением ГРП для прироста ресурсов и запасов нефти и газа в ближайшей и среднесрочной перспективе является освоение баженовской нефти Западной Сибири. Примыкает к этому направлению прирост ресурсов и запасов нефти в доюрских отложениях, включая фундамент, Западной Сибири.**
- **3. В государственных геополитических и оборонных интересах, в среднесрочной перспективе необходимо продолжать работы по изучению геологического строения и нефтегазоносности арктических акваторий, а также в сложных низкопроницаемых породах-коллекторах как с целью прироста ресурсов и запасов нефти (газа), так и с задачей создания и усовершенствования технических средств и технологий.**