

**Научно-образовательный центр  
«Поисков, разведки и разработки месторождений углеводородов»  
Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова**

**Отчет по мероприятию:**

**«Создание и распространение новых учебных курсов и программ в области  
поисков, разведки и разработки месторождений углеводородов»**

**НИМ 1. Разработка программы – «Инновационные проекты ВУЗов для  
нефтегазовой отрасли»**

**Москва 2011 г.**

# Оглавление

## Оглавление

Введение .....	4
Раздел 1. «Переработка углеводородного сырья».....	8
«Инновационные технологии переработки углеводородного и альтернативного углеродсодержащего сырья» .....	9
«Получение катализаторов гидрирования непредельных соединений с помощью метода лазерной абляции» .....	26
«Гидроизомеризация высших н-алканов и дизельных фракций на катализаторах, содержащих мезопористые материалы» .....	40
«Олигомеризация децена-1 в присутствии WO <sub>3</sub> /ZrO <sub>2</sub> » .....	46
Раздел 2 «Геофизические исследования».....	53
«Экологические проблемы освоения Арктики».....	54
«Технология мониторинга состояния донных экосистем акваторий» .....	71
«Излучающая установка для погружных сейсмо-акустических систем».....	76
Раздел 3 «Моделирование углеводородных бассейнов» .....	81
«Происхождение углеводородов» .....	81
«Программные решения для седиментационного моделирования» .....	102
Раздел 4 «Петрофизические исследования керна».....	109
«Цифровая лаборатория исследования керна нефтегазовых месторождений «IntroRock».....	110

## **Введение**

Научно-информационный материал разработан специалистами Научно-образовательного центра «Поисков, разведки и разработки месторождений углеводородов» Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова: (НОЦ «Нефтегазовый центр МГУ») с привлечением специалистов Геологического факультета. Работы выполнялись в рамках Договора от 12 апреля 2011г. №6 между Департаментом образования города Москвы и Некоммерческой организацией «Ассоциация московских вузов» и Протокол заседания Отраслевой комиссии Департамента образования города Москвы от 25.08.2011г. № 3. в рамках мероприятия Н1 1.1.4 «Создание и распространение новых учебных курсов и программ в области поисков, разведки и разработки месторождений углеводородов» раздел «Подготовка материалов конкурса Инновационные проекты ВУЗов для нефтегазовой отрасли».

Научно-информационный материал составлен на основе тематических и научно-популярных докладов, освещающих историю, проблемы и задачи отрасли и собственно проектов, представленные на конкурс «ФИНТ» («Фестиваль Инновационных Технологий») в рамках проведения VI Всероссийского Фестиваля Науки в городе Москве, который проходил 7-9 октября 2011г в здании первого учебного корпуса МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научно-информационный материал, использованный для создания настоящего аналитического обзора, включает следующие разделы:

- «Переработка углеводородного сырья»;
- «Геофизические исследования»;
- «Моделирование углеводородных бассейнов»;
- «Петрофизические исследования керна».

Материалы конкурса включают в себя презентации инновационных проектов, представленные финалистами конкурса

Проведению сессии по каждому из направлений предваряла тематическая или научно-популярная лекция ведущих специалистов отрасли.

-По направлению: **«Переработка углеводородного сырья» тематический доклад:** Максимова Антона Львовича, в.н.с., кафедра химии нефти и органического катализа, Химический факультет МГУ «Инновационные технологии переработки углеводородного и альтернативного углеродсодержащего сырья»;

- По направлению: **«Геофизические исследования» тематический доклад:**

Спиридонов Василий Альбертович, д.б.н. Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. «Экологические проблемы освоения Арктики».

-По направлению: «**Моделирование углеводородных бассейнов**»:

**Научно-популярная лекция:** Полудеткина Елена Николаевна, к. г.-м. н., с.н.с. Геологического факультета МГУ; Корост Дмитрий Вячеславович, н.с. Геологического факультета МГУ; Норина Дарья, аспирант Геологического факультета МГУ. «Происхождение углеводородов».

**Тематический доклад:** Ахманов Григорий Георгиевич, к.г.-м.н., доцент Геологического факультета МГУ, Иванов Михаил Константинович, д. г.-м. н., проф., МГУ; Токарев Михаил Юрьевич, старший преподаватель Геологического факультета МГУ. «Углеводородные ресурсы морских акваторий и Арктического региона Российской Федерации. Отчет о 18-м рейсе ТТР»

В рамках подготовки материалов конкурса «ФИНТ» был осуществлен экспертный отбор конкурсных проектов, составлена программа по направлению «Нефтегазовая отрасль» «Инновационные проекты ВУЗов для нефтегазовой отрасли» (приложение 1), а также было организовано проведение и техническое сопровождение самого конкурса. В результате экспертного отбора в финал конкурса были представлены следующие инновационные проекты:

По направлению: «**Переработка углеводородного сырья**»

**3 конкурсных работы:**

1. Аксёнов Иван Андреевич, аспирант Химического факультета МГУ. «Получение катализаторов гидрирования непредельных соединений с помощью метода лазерной абляции»
2. Широкопояс Сергей Иванович, аспирант Химического факультета МГУ. «Гидроизомеризация высших н-алканов и дизельных фракций на катализаторах, содержащих мезопористые материалы»
3. Решетников Дмитрий Михайлович, аспирант Института нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН. «Олигомеризация децена-1 в присутствии WO<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>»

По направлению: «**Геофизические исследования**»

**2 конкурсные работы:**

1. Губанова Яна Евгеньевна, аспирант Геологического факультета МГУ, Исаченко Артем Игоревич, аспирант Биологического факультета МГУ. «Технология мониторинга состояния донных экосистем акваторий».

2. Маев Петр Андреевич, студент Геологического факультета МГУ; Шматков Алексей Алексеевич, аспирант Геологического факультета МГУ. «Излучающая установка для погружных сейсмо-акустических систем».

По направлению: **«Моделирование углеводородных бассейнов»:**

**Конкурсная работа**

1. Линёв Дмитрий Николаевич, аспирант Геологического факультета МГУ; Камаева Мария Ивановна, магистрант Геологического факультета МГУ «Программные решения для седиментационного моделирования».

По направлению: **«Петрофизические исследования керна»**

**Конкурсная работа:**

- 1 Грачев Николай Евгеньевич, генеральный директор компании «IntroVision», участник проекта «Сколково» «Цифровая лаборатория исследования керна нефтегазовых месторождений «IntroRock».

## Приложение 1. Программа конкурса

### ПРОГРАММА

Фестиваля Инновационных Технологий («ФИНТ») по направлению «Нефтегазовая отрасль»

«Инновационные проекты ВУЗов для нефтегазовой отрасли»

г. Москва, Ломоносовский пр-т, д. 27, корп. 4, Первый учебный корпус МГУ, сектор Д, аудитория №5

8 октября 2011 года

Ведущий – менеджер образовательных проектов НОЦ «Нефтегазовый центр МГУ» Яремченко Ирина Игоревна

ВРЕМЯ	МЕРОПРИЯТИЕ	ТЕМА	ДОКЛАДЧИК
11:00-11:40	тематическая лекция	«Инновационные технологии переработки углеводородного и альтернативного углеродсодержащего сырья»  участники конкурса: Фестиваль Инновационных Технологий («ФИНТ») «Получение катализаторов гидрирования непредельных соединений с помощью метода лазерной абляции»	Максимов Антон Львович, в.н.с. Химического факультета МГУ  Аксёнов Иван Андреевич, аспирант Химического факультета МГУ
11:40-11:55			
11:55-12:10	презентации инновационных проектов	«Гидроизомеризация высших <i>n</i> -алканов и дизельных фракций на катализаторах, содержащих мезопористые материалы»	Широкопояс Сергей Иванович, аспирант Химического факультета МГУ
12:10-12:25		«Олигомеризация децина-1 в присутствии $WO_3/ZrO_2$ »	Решетников Дмитрий Михайлович, аспирант Института нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН
12:25:00 - 12:45:00	ПЕРЕРЫВ (КОФЕ-БРЕЙК)		
12:45-13:30	научно-популярная лекция	«Происхождение углеводородов»	Полудеткина Елена Николаевна, к. г.-м. н., с.н.с. Геологического факультета МГУ; Корост Дмитрий Вячеславович, н.с. Геологического факультета МГУ; Норина Дарья, аспирант Геологического факультета МГУ
13:30:00 - 14:40:00	ПЕРЕРЫВ (КОФЕ-БРЕЙК)		
14:40-15:20	тематический доклад	«Экологические проблемы освоения Арктики»	Спиридонов Василий Альбертович, д.б.н. Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН
15:20:00 - 15:40:00	ПЕРЕРЫВ (КОФЕ-БРЕЙК)		
15:40-15:55		участники конкурса: Фестиваль Инновационных Технологий («ФИНТ») «Технология мониторинга состояния донных экосистем акваторий»	Губанова Яна Евгеньевна, аспирант Геологического факультета МГУ Исаченко Артем Игоревич, аспирант Геологического факультета МГУ
15:55-16:10	презентации инновационных проектов	«Излучающая установка для погружных сейсмоакустических систем»	Маев Петр Андреевич, студент Геологического факультета МГУ; Шматков Алексей Алексеевич, аспирант Геологического факультета МГУ
16:10-16:25		«Программные решения для седиментационного моделирования»	Линёв Дмитрий Николаевич, аспирант Геологического факультета МГУ; Камаева Мария Ивановна, магистрант Геологического факультета МГУ;
16:25-16:40		«Цифровая лаборатория исследования керна нефтегазовых месторождений «IntroRock»»	Грачев Николай Евгеньевич, генеральный директор компании «IntroVision», участник проекта «Сколково»
16:40-17:20	тематический доклад	«Углеводородные ресурсы морских акваторий и Арктического региона Российской Федерации. Отчет о 18-м рейсе ТТР»	Ахманов Григорий Георгиевич, к.г.-м.н., доцент Геологического факультета МГУ Иванов Михаил Константинович, д. г.-м. н., проф., МГУ; Токарев Михаил Юрьевич, старший преподаватель Геологического факультета МГУ

## **Раздел 1. «Переработка углеводородного сырья»**

Конкурсной сессии предшествовала тематическая лекция «Инновационные технологии переработки углеводородного и альтернативного углеродсодержащего сырья»

В настоящее время глубина переработки нефти на предприятиях России составляет в среднем 70 %, в то время как в развитых странах – более 90%. Интенсификация процессов переработки и увеличение эффективности использования углеводородного сырья сопряжено с созданием новых технологий, позволяющих вовлекать в процессы тяжелое сырье (высококипящие фракции нефти, битуминозные нефти и др.). Разработка новых катализаторов и технологий требует использования всего арсенала методов физического и математического моделирования протекающих процессов, применения современных физических и химических методов для их исследования и управления.

Актуальность заявленной темы и последующая цель изучения поставленных задач заключается в разработке инновационных методов увеличения глубины переработки нефти, вовлечение в нефтепереработку тяжелого и альтернативного сырья для получения топлив и продуктов нефтехимии. Планируется предложить обеспечивающие прорыв по важнейшим направлениям развития технологий переработки нефти и природного газа принципиально новые подходы в области интенсификации переработки углеводородного и альтернативного сырья, расширения сырьевой базы производства моторных топлив и основных продуктов нефтехимии. Разработанные на их основе технологии позволят достигнуть существенного повышения селективности процессов нефтепереработки и нефтехимии и снижения затрат энергии на производство единицы продукции, будут отвечать требованиям устойчивого развития общества.

# «Инновационные технологии переработки углеводородного и альтернативного углеродсодержащего сырья»

Автор: Максимов Антон Львович, в.н.с., кафедра химии нефти и органического катализа, Химический факультет МГУ

Влияние продуктов процессов нефтепереработки и нефтехимии на  
качество высокооктанового бензина

Показатели	Алкил-бензин	Этанол	МТБЭ	Изомеризат	Риформат	Бензин катализитического крекинга
Ароматические углеводороды	нет	нет	нет	нет	да	да
Бензол	нет	нет	нет	нет	да	нет
Серусодержащие	нет	нет	нет	нет	нет	да
Олефиновые	нет	нет	нет	нет	нет	да
Упругость паров	нет	да	да/нет	да/нет	нет	да/нет
Смешиваемость	нет	да	нет	нет	нет	нет
Октановая характеристика	нет	нет	нет	да/нет	нет	да/нет
Влияние на экологию	нет	нет	да	нет	да	да

## Альтернативное сырье

### • Невозобновляемое сырье

- Тяжелые высоковязкие нефти и тяжелые остатки нефтепереработки
- Матричная нефть
- Битуминозные пески и природные битумы
- Уголь и горючие сланцы
- Попутный нефтяной газ
- Природный газ
- Сланцевый и шахтный газ
- Газогидраты

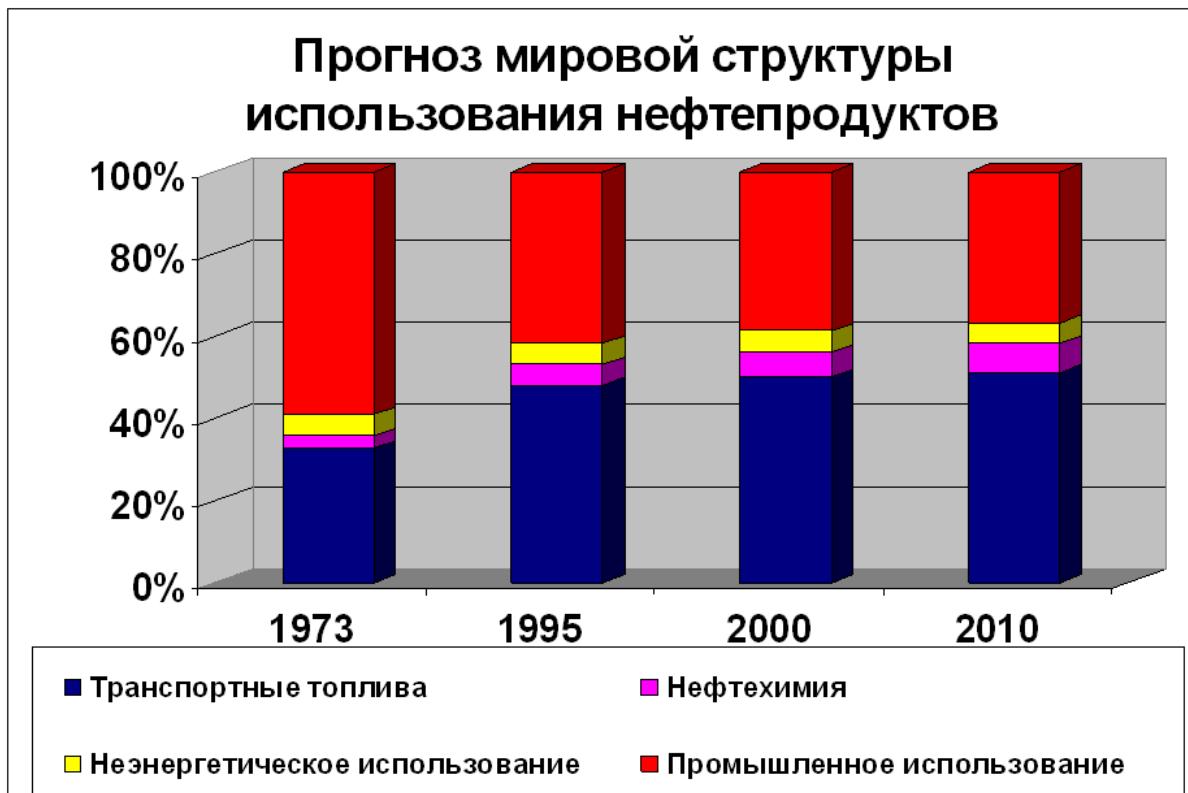
### • Возобновляемое сырье

- Торф
- Биомасса растительного происхождения (отходы лесоразработок, сельскохозяйственные отходы и и.д.)
- Водоросли синтетические
- Техногенные отходы

2

### Запасы нефти основных нефтедобывающих стран мира

Страна	Запасы, млн т
Саудовская Аравия	35479,0
Ирак	15410,0
Кувейт	12876,0
Иран	12739,0
ОАЭ	12630,
Венесуэла	9818,0
Россия	6653,8
Мексика	5479,3
Китай	3287,7
США	3016,0
Нигерия	2299,5
Норвегия	1427,7
Алжир	1260,3



### Этапы развития нефтепереработки

Первые сведения о нефти появились почти пятнадцать веков назад, но **до середины 19-го века** промышленного значения использование нефти не имело.

Эволюционному развитию схем и технологий процессов глубокой переработки нефти всегда способствовало появление принципиально новых научных идей и их внедрение с применением новых технических приемов для реализации эффекта, заложенного в этих идеях, что, безусловно, приводило к крупному прогрессу в науке и технике.

Сырьевые ресурсы и потребность рынка в номенклатуре и качестве получаемых продуктов определяют экономически целесообразную глубину и комплексность переработки тяжелого нефтяного сырья различного происхождения.

**I ЭТАП -XIX ВЕК** – начало промышленного использования нефти, первые установки фракционирования и термического крекинга. Продукция –осветительный керосин, колесная смазка и мазут.

**II ЭТАП - XX ВЕК** – начало второго этапа глубокой переработки нефти. Изобретение карбюраторного двигателя, летательных аппаратов, дизеля. Развитие катализа в Н/п и Н/Х.

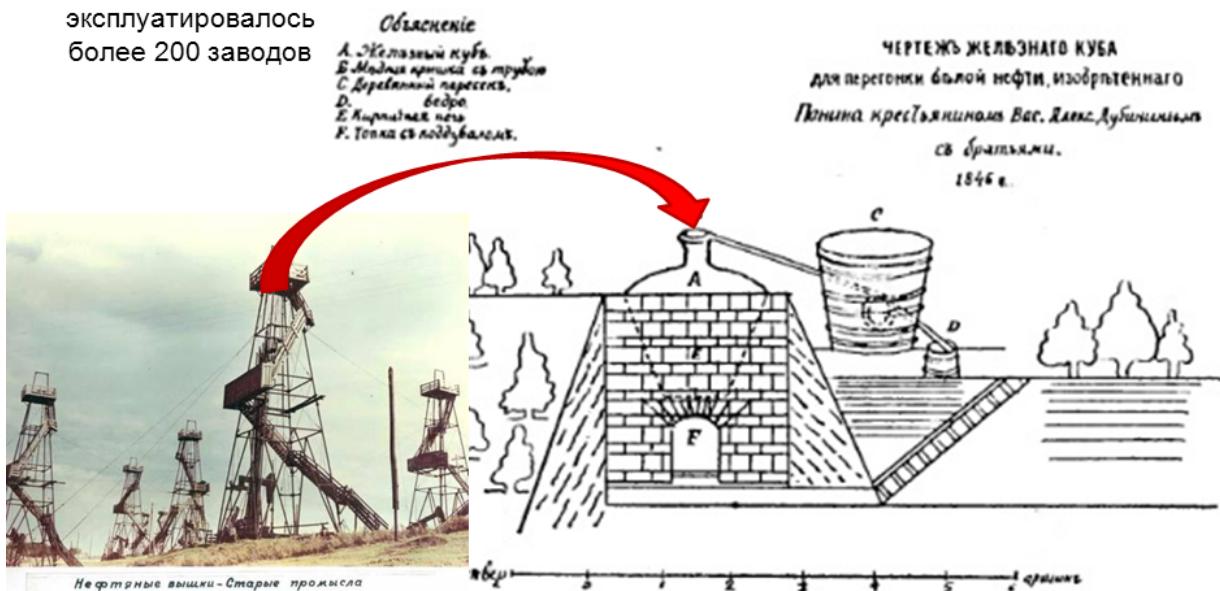
**III ЭТАП -XXI ВЕК** – конец XX -начало III этапа глубокой переработки нефти.

## XIX ВЕК- Промышленные установки переработки нефти.

В 60-х годах 19-го века в районах Грозного и Баку были построены первые нефтеперегонные кубы для промышленного производства **керосина**.

В конце 70-х годов в Баку эксплуатировалось более 200 заводов

В России в 1823 г. в Моздоке по проекту братьев Дубининых и в 1837 г. в селе Балаханы (Азербайджан) по проекту П. Воскобойникова построены нефтеперегонные заводы, на которых в железных кубах осуществлялась перегонка нефти с целью получения **осветительного керосина**.



### XX век- начало 2-го этапа- глубокая переработка нефти



В конце XIX века нашлось применение и еще одному очень важному продукту, который получается из нефти,— бензину.

В 80-х годах XIX века русский моряк О. С. Костович изобрел первый в мире бензиновый карбюраторный двигатель, предназначавшийся для дирижаблей. Ныне хранится в Музее авиации и космонавтики имени М. Фрунзе.

В 1885 году Г. Даймлер в Германии применил бензиновый двигатель для мотоцикла, а позже К. Бенц — для трехколесной тележки.

28 февраля 1892 года Дизель подал заявку на изобретение «нового рационального теплового двигателя» дизельного дв.

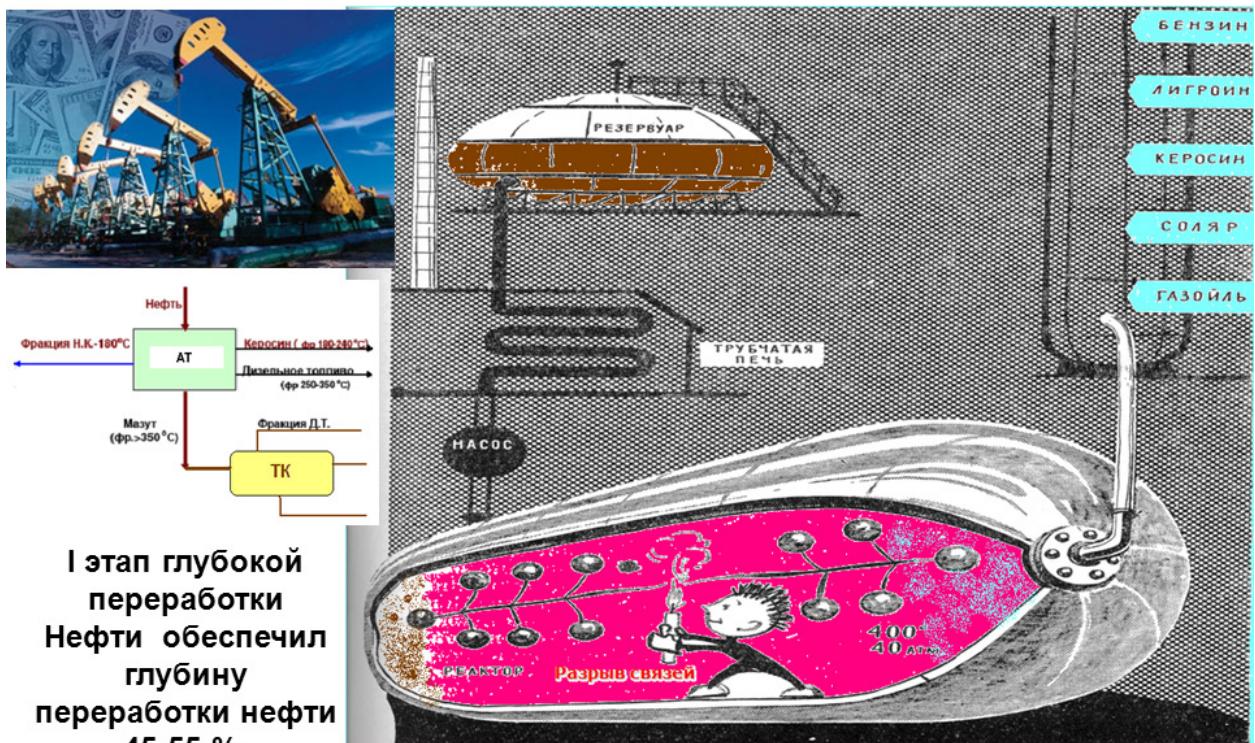
**Встала задача — каким образом можно получать из нефти больше бензина, ДТ.**

В 1866 году англичанин Дж. Юнг патентует способ разложения нефти при нагревании под давлением. Этот способ, впоследствии названный крекингом, позволил получать бензин и керосин из тяжелых углеводородов.

В 1891 году В. Шухов и С. Гаврилов предложили установку для непрерывного термического крекинга под давлением, идея которой до настоящего времени является основой всех современных установок подобного рода.

Технология термического разрыва С-С связей в тяжелых остатках нефти

## Расщепление тяжелых фракций нефти по В.Г. Шухову



О составѣ и техническихъ свойствахъ нефти русскихъ мѣсторождений.

Составилъ  
К. В. Харичковъ.

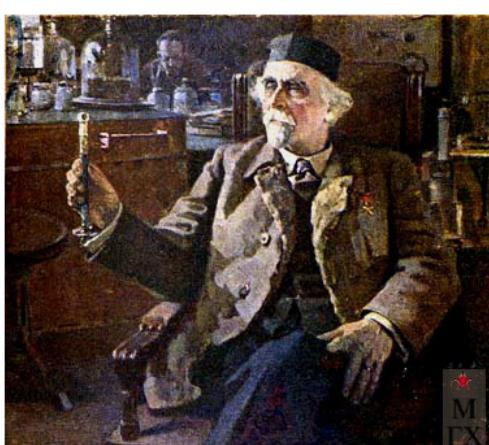
Завѣщаюшій аналитической лабораторіей при грозненскомъ нефтеперегонномъ заводѣ Владивостокской желѣзной дороги

1902 г.

**В 1902 году выдающийся российский химик К.В. Харичков – ученик Д.И. Менделеева, открыл явление холодной фракционировки нефтяных фракций избирательными растворителями с выделением ценных масел и парафинов – начало эры комплексного использования компонентов нефти.**

Николай Дмитриевич Зелинский  
(1861-1953)

Выдающийся русский и советский химик-органик и химик-катализитик, автор фундаментальных открытий в области синтеза углеводородов, органического катализа, катализитического крекинга нефти, создатель научной школы и один из основоположников использования катализа в нефтехимии

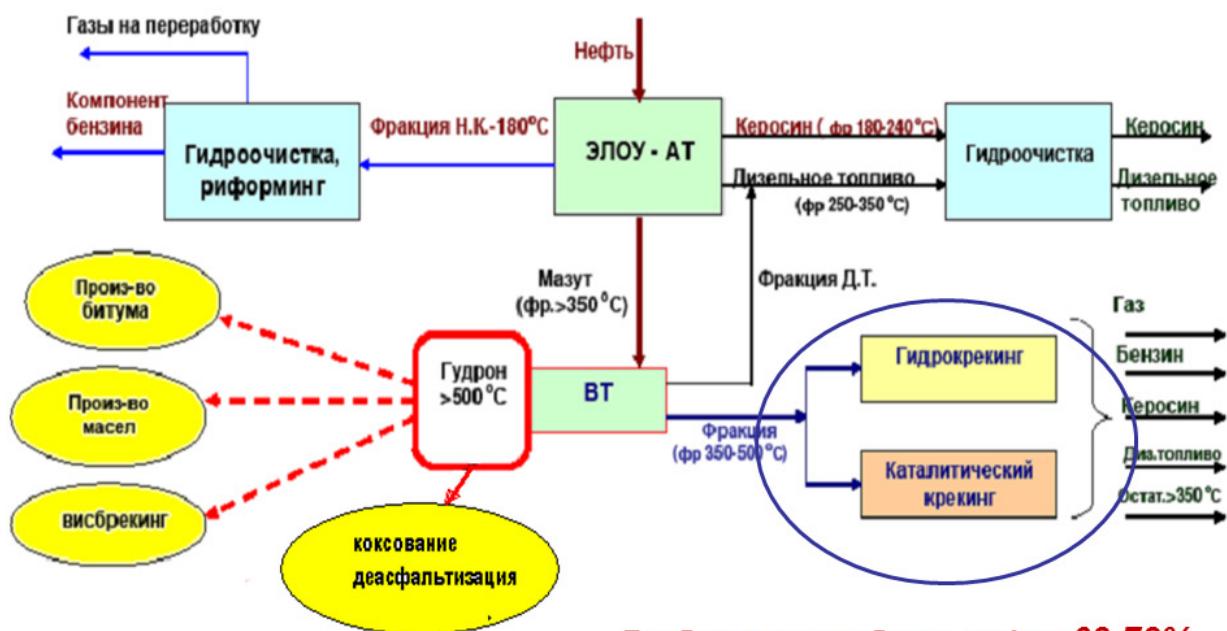


**30-е годы построены НПЗ : Ухте (1933), Москве (1938), Саратове (1934), Уфе (1938), Ишимбае (1936), Орске (1935), Батуми (1931), Одессе (1937). Херсоне (1938).**

СЫРАЯ НЕФТЬ



Второй этап развития схем глубокой переработки нефти завершен.



Глубина переработки нефти 68-72%

## КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ

ИОЧ до 92

ПАРАФИНЫ

ИЗОПАРАФИНЫ

НАФТЕНЫ

Катализатор

ОЛЕФИНЫ

АРОМАТИЧЕСКИЕ  
СОЕДИНЕНИЯ

450-530°C

АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

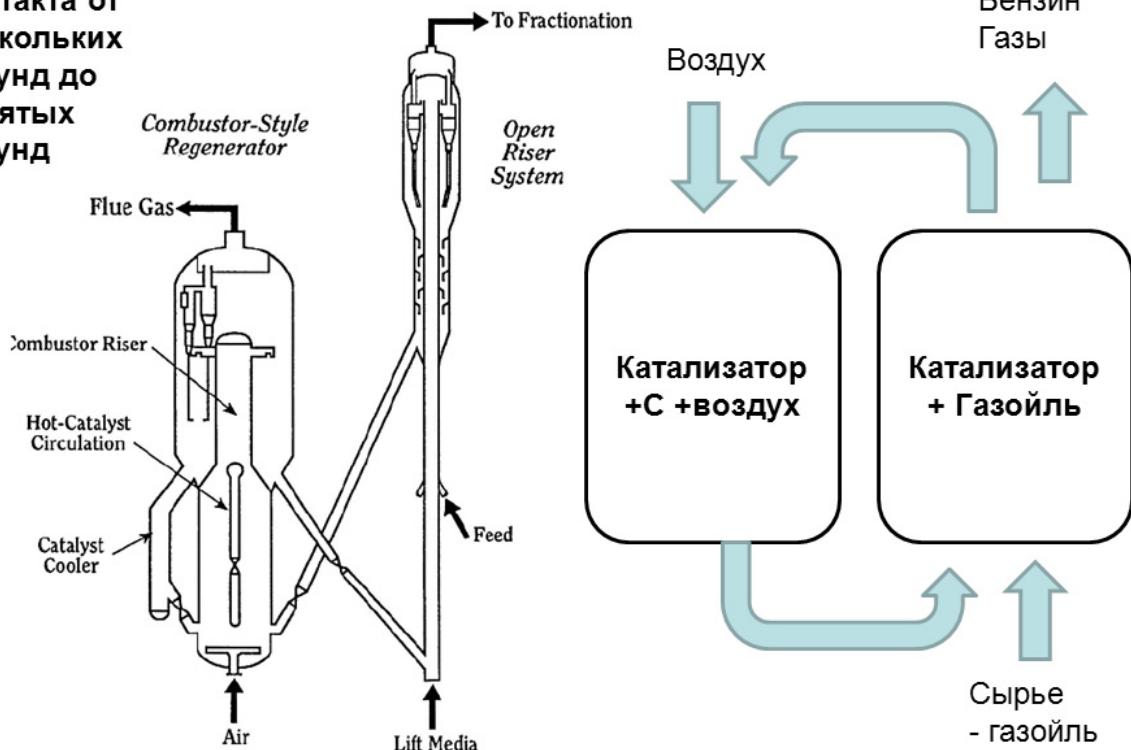
Вакуумный газойль  
550 °C > Tk > 350 °C

БЕНЗИНОВАЯ ФРАКЦИЯ До 58%  
Tk < 180 °C

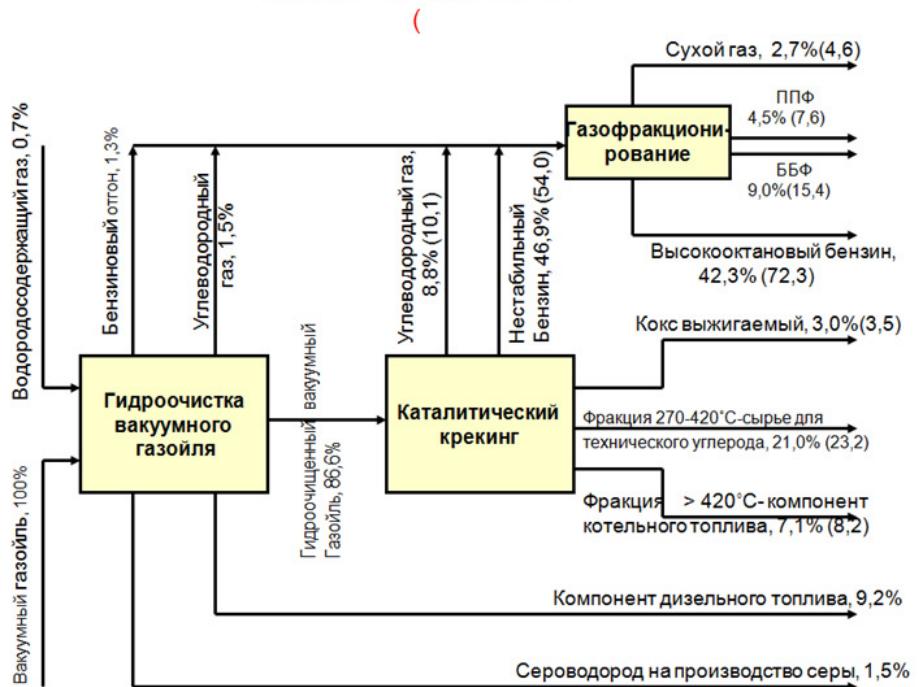
ГАЗЫ ПРОПИЛЕН  
БУТЕНЫ  
КОКС -

До 14%  
2-3.5%

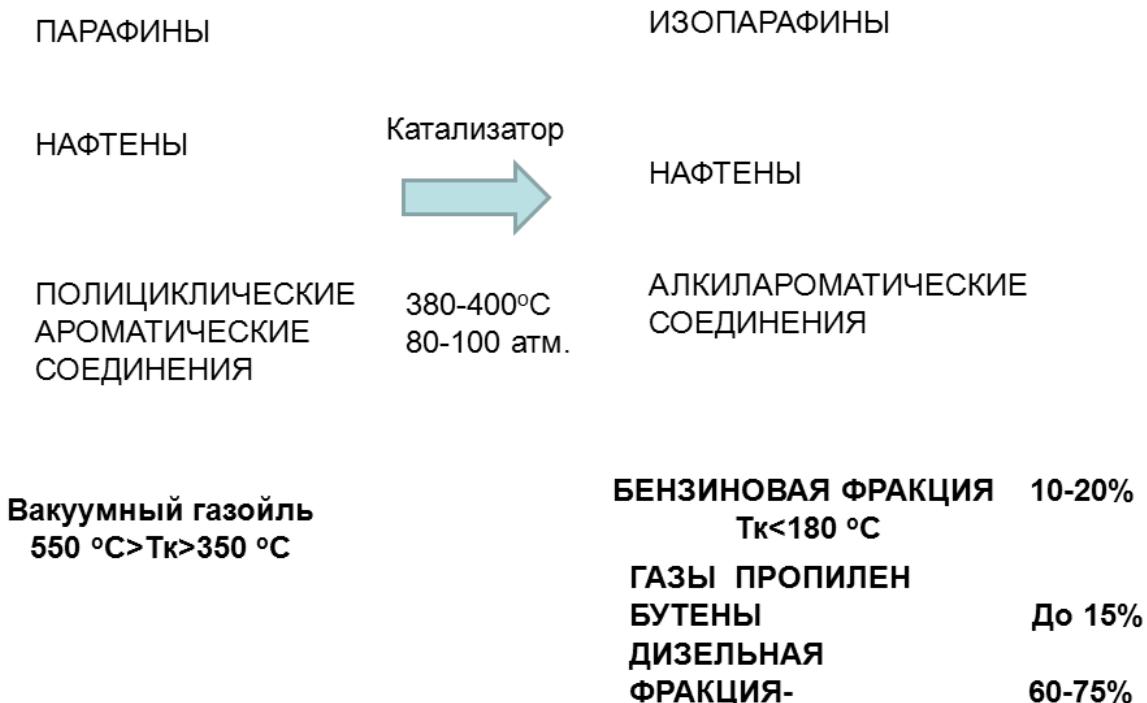
Время  
контакта от  
нескольких  
секунд до  
десятых  
секунд



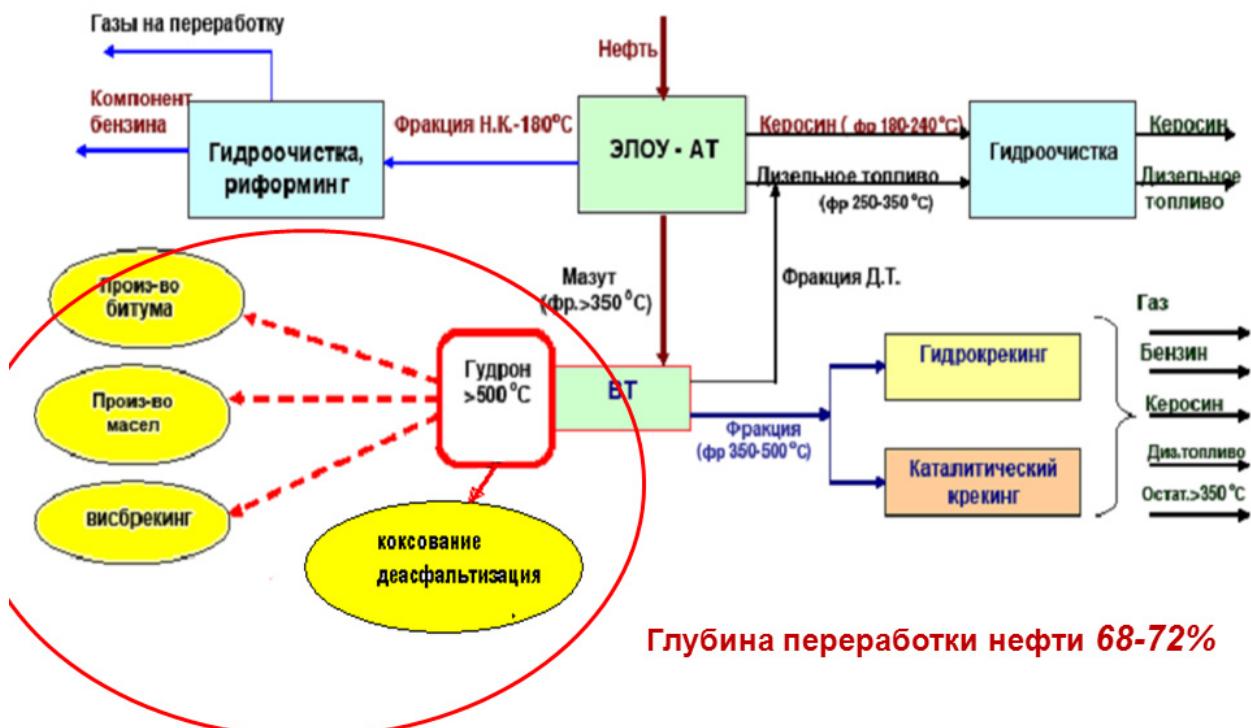
**В отечественной промышленности внедрены комплексы глубокой переработки нефти, включающие установку каталитического крекинга ГК-3, Г-43-107, КТ-1.**



## ГИДРОКРЕКИНГ



Второй этап развития схем глубокой переработки нефти завершен.



ГУДРОН Т<sub>к</sub>>500°С  
С/Н ВЕЛИКО!!!!

## УДАЛИТЬ УГЛЕРОД

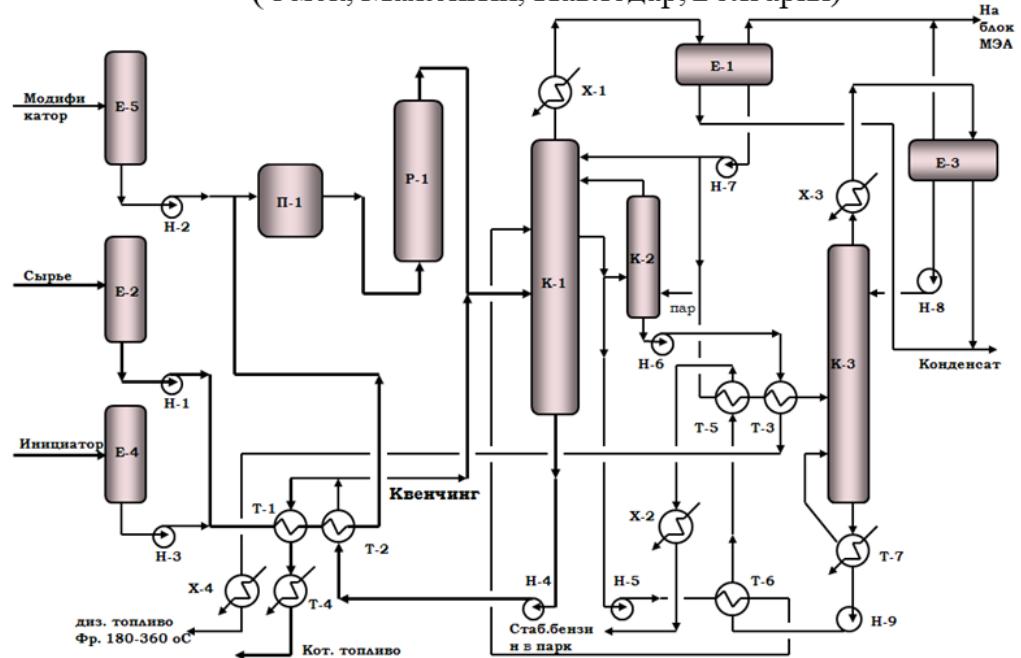
## ДОБАВИТЬ ВОДОРОД

## БЕНЗИН + КОКС

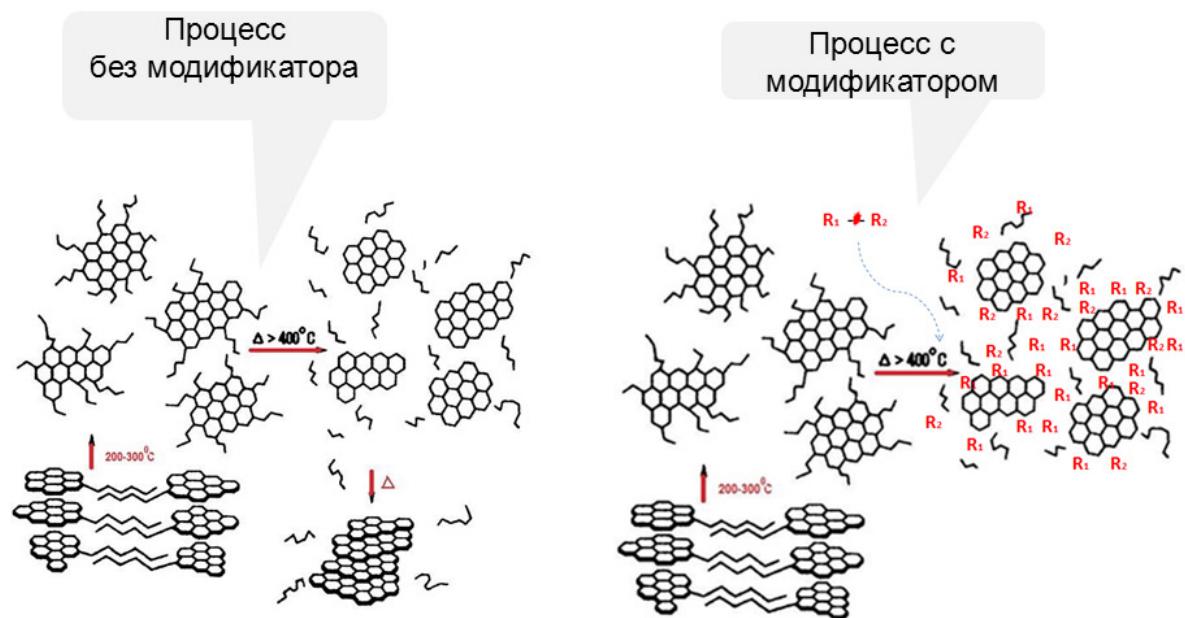
БЕНЗИН +  
ДИЗЕЛЬНАЯ ФРАКЦИЯ +  
ГАЗОЙЛЬ

## Принципиальная схема установки висбрекинга в составе комплекса КТ-1

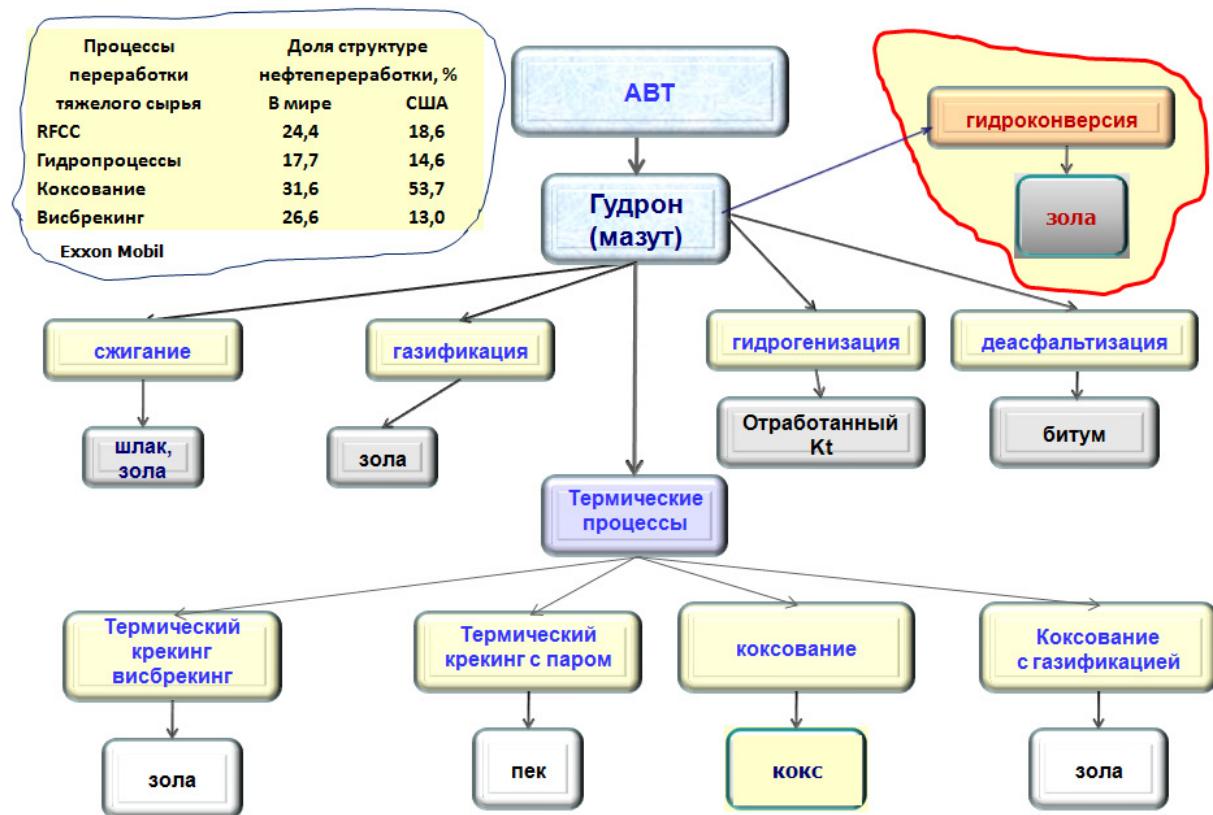
(Омск, Мажейкяй, Павлодар, Болгария)



## Схема направленной термической трансформации высокомолекулярных углеводородов нефти



Y.B. Amerik, S.N. Khadzhiev. 13<sup>th</sup> World Petroleum Congress, 1991



## Основные критерии переработки нефти

Максимальная эффективность переработки и  
высокое качество товарных нефтепродуктов и сырья для нефтехимии

- **Глубина переработки нефти** в настоящее время определяется как степень использования нефти для удовлетворения потребностей общества различными углеродсодержащими продуктами за исключением потребностей в топливе для теплоэлектроцентралей и потерь при переработке.
- **Комплексность переработки нефти** предполагает как рациональное извлечение из нефти ценных компонентов (масел, жидких и твердых парафинов, нафтеновых кислот, серо- и азотоорганических соединений, металлов и т.д.), так и оптимальную переработку ранее трудно утилизируемых отходов, например, попутных и нефтезаводских газов, асфальтов, пеков.
- **Безотходность переработки нефти**, ставшая особо острой в связи с возрастающим отрицательным воздействием человеческой деятельности на окружающую среду, предусматривает не только полную переработку всех фракций нефти, но и в большей степени применение технологий, катализаторов и реагентов, исключающих образование вредных выбросов и отходов.

## **Проблемы переработки тяжелой части нефти**

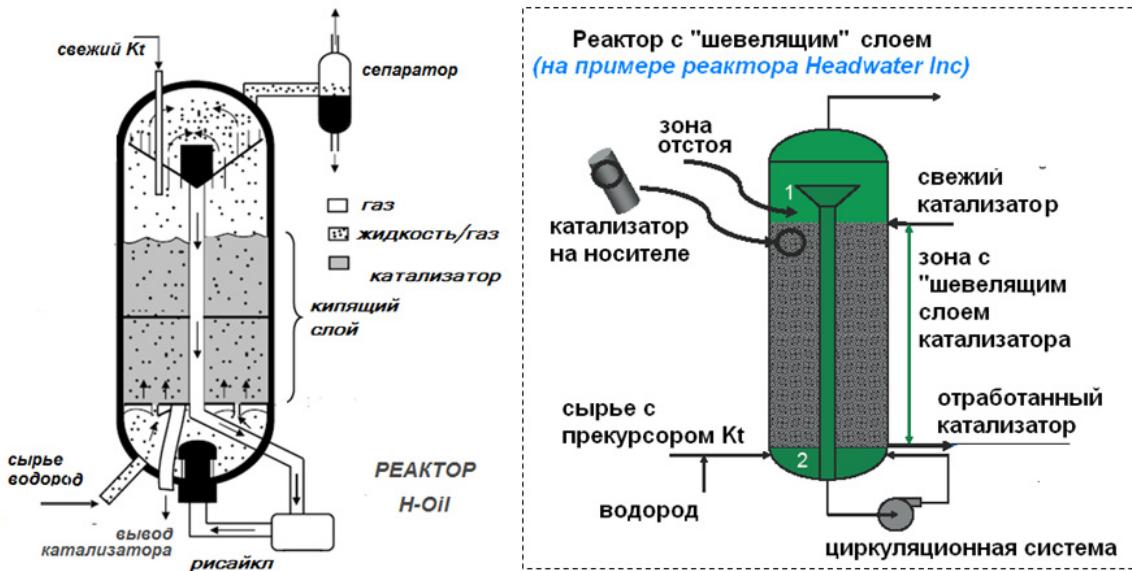


## Современные процессы гидрогенизации тяжелого сырья

**Задачи - тотальная конверсия тяжелого сырья, высокая селективность по выходу компонентов моторных топлив, экологическая безопасность, гибкость и простота при сравнительно умеренных капитальных и эксплуатационных затратах**

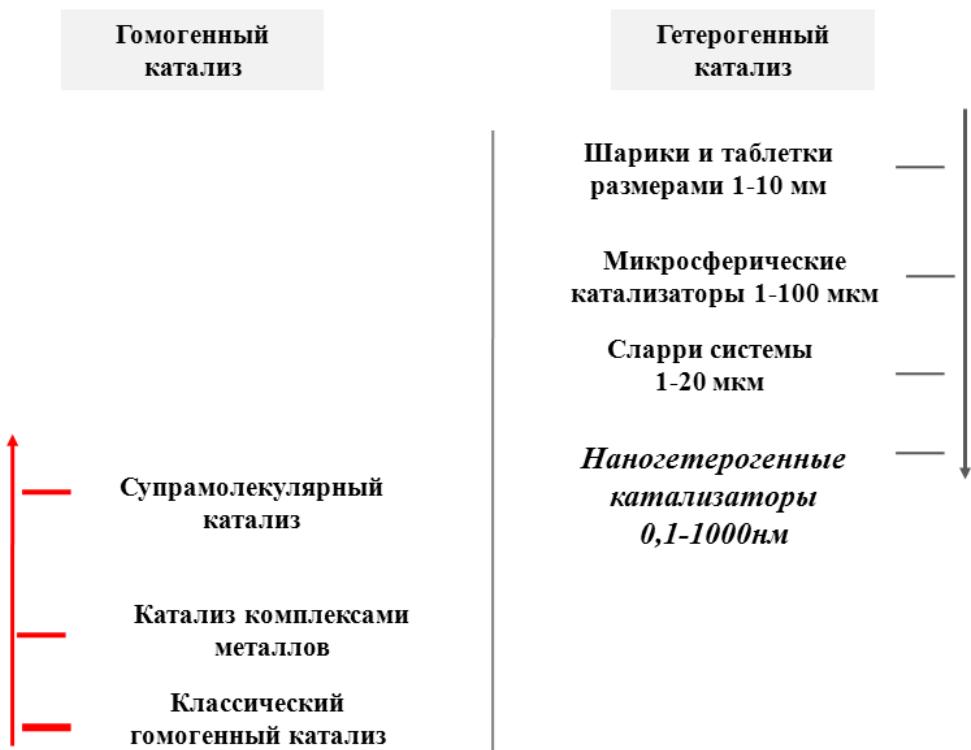
Показатели	H-oil Axens	LC- fining CLG	EST Snamprogetti	VCC KBR	Uniflex-UOP	Гидро-конверсия ИНХС
<b>Условия процесса:</b>						
- давление, МПа	16,0-20,0	9,7-24,0	12-14	20,0	10-15	7,0-8,0
- температура, °С	440	385-450	420-445	430-450	440-460	440-450
<b>Плотность сырья, кг/м<sup>3</sup></b>	992-1023	983-1039	1312	950-1200	1030	900-1200
<b>Содержание серы, % масс.</b>	3,4-3,8	4,9	5.28	5,0	5.3	5,0
<b>Выход фракций, % масс.</b>						
- газ	3,2	7-9	10,9	13,2	10	7,4
- бензиновая	15,5	14-16	4,9	12	14	11,6
- дизельная	19,0	34-36	30,6	47	44	49,2
- вакуумный газойль	31,3	36-39	29,2	26	20	26,8
- вакуумный остаток	31,0	14-15	24,5	<5	14	5,0

### Реакционные системы

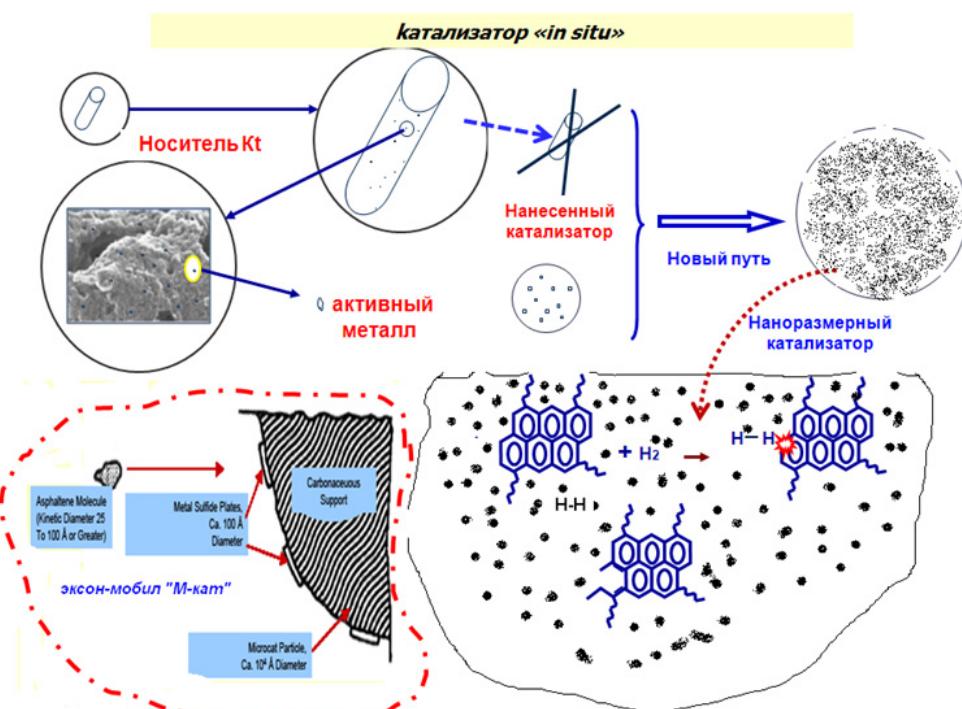


Сларри системы:  
**H-Oil, Uniflex,  
Eni slurry technology,  
VCC-KBR.**

Системы с “шевелящим” слоем:  
**LC-Fining, Headwater Inc.**



26



22



28

### Качественные показатели переработки нефти

Показатели	Россия	США	Западная Европа
<b>Общий объем переработки нефти (загрузка мощностей первичной переработки, млн. тонн в год)</b>	<b>195</b>	<b>808</b>	<b>686</b>
Мощность вторичных процессов, % (масс.) от процессов первичной переработки:			
гидроочистка	28	43,6	30
катализитический крекинг	9,5	34,2	14
катализитический риформинг	9,3	23,6	15,5
гидрокрекинг	0,6	8,1	3,2
термический крекинг и висбрекинг гудрона	3,5	1,7	10,7
коксование	0,9	10,1	2,1
алкилирование	0,2	5,6	0,8
изомеризация	0,2	5,6	0,8
производство высокооктановых добавок (МТБЭ и ТАМЭ)	0,17	0,7	0,4
<b>Глубина переработки нефти, % (масс.)</b>	<b>64,7</b>	<b>93</b>	<b>87</b>
<b>Объем производства моторных топлив (млн.т/год)</b>			
бензиновых	29	360	130
дизельных топлив	43	176	132
реактивных топлив	7	71	325

23

## Стандарты качества автомобильных бензинов

Показатели	Ед. изм.	Euro-2 2000 г.	Euro-3 2002 г.	Euro-4 2005 г.	Россия 2003 г.	США (Калифорния)
Бензол, не более	%, об.	5,0	1,0	1,0	1-5	1,0
Сера, не более	ppm	500	150	50	500	30
Ароматика, не более	%, об.	42,0	42,0	35,0	-	25
Олефины, не более	%, об.	-	18,0	14,0	-	6,5
Кислород, не более	%, масс.	-	2,3	2,7	-	2,0
Давление насыщенных паров, не более	кПа	60,0	60,0	60,0	66,7	60,0



## Бензиновый фонд

Компонент	Содержание в бензине, % масс
	Евро-4 и Евро-5
Бутаны	3,5
Риформинг-бензин	24,6
Бензин каталитического крекинга	28,1
Алкилат	16,5
Изомеризат	11,6
Низкооктановые компоненты	3,5
Оксигенаты	10,8
Среднерасчетное октановое число и.м.	95
Суммарное содержание ароматических углеводородов	Евро-4≤35 Евро-5≤25

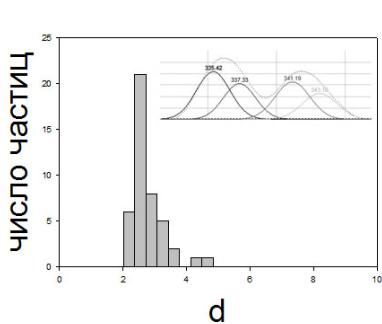
В финал направления представлены три конкурсные работы:

## «Получение катализаторов гидрирования непредельных соединений с помощью метода лазерной аблации»

Автор: Аксёнов Иван Андреевич, аспирант Химического факультета МГУ.

Аннотация:

В нефтехимической промышленности гидрирование непредельных и ароматических соединений - является важным процессом. В реакциях гидрирования традиционно используются нанесенные катализаторы, представляющие собой активный компонент, нанесенный на носитель. В качестве носителей, как правило, выступают оксиды различных металлов ( $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MgO$ ), цеолиты, активный уголь. По сравнению с массивными металлами, нанесенные катализаторы обладают следующими достоинствами: большая поверхность катализатора, увеличение используемости активного компонента (экономия дорогостоящего металла), предотвращение дезактивации вследствие увеличения размера частиц катализатора. Нанесенные катализаторы традиционно получают следующими методами: соосаждение, осаждение, пропитка, адсорбционное нанесение. Однако у традиционных методов существуют минусы, такие как трудность контроля размера полученных частиц и большой расход активного компонента (металла).



В качестве альтернативы к традиционным методам, был предложен метод лазерной аблации. Метод заключается в переносе металла в лазерную плазму с осаждением на носителе. Выделяют следующие достоинства метода: высокая скорость осаждения, дозировка подачи материала, возможность контроля размера частиц, возможность получения определенной структуры осажденного металла, возможность нанесения различных комбинаций металлов. В качестве носителя были выбраны два типа углеродной ткани, различающиеся удельной площадью поверхности ( $3,4 \text{ м}^2/\text{г}$  и  $7,2 \text{ м}^2/\text{г}$ ). В качестве наносимого металла был выбран палладий. При нанесении в вакуумной камере использовался KrF-лазер, длина волны 248 нм, длительность импульса  $\sim 20\text{ нс}$ , 8000 импульсов, энергия лазера 50 мДж. Согласно данным размер получаемых частиц колеблется от 2 до 4 нм.

Было установлено, что на поверхности носителя находится металлический палладий и оксиды палладия. Активность катализаторов исследовалась в реакциях гидрирования циклогексена ( $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , 50 атм). Было установлено, что полученные катализаторы имеют высокую катализическую активность в реакциях гидрирования непредельных углеводородов.

# Получение катализаторов гидрирования непредельных соединений с помощью метода лазерной абляции

Химический факультет МГУ  
кафедра химии нефти и органического катализа  
Аксенов И.А.

## Получение мономеров в промышленности

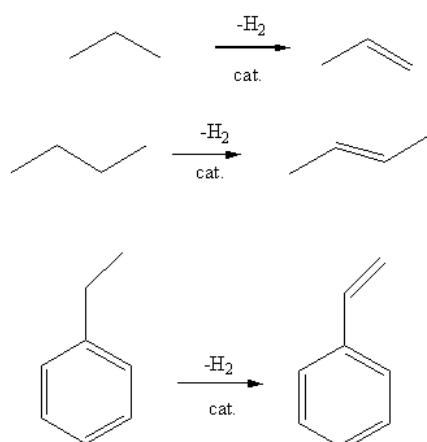


# Требования к конечным продуктам пиролиза

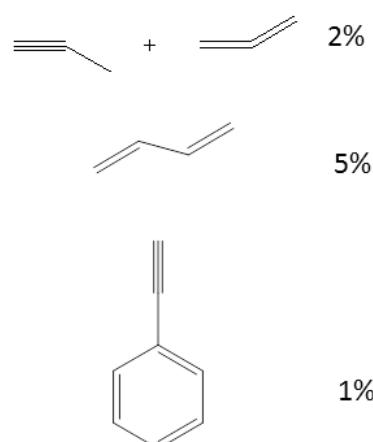
Целевой продукт	Побочный продукт пиролиза	Содержание побочного продукта во фракции	Требования к качеству сырья для полимеризации		
			Вещество	%	ppm
Этилен	ацетилен	0,95	2		
Пропилен	пропадиен	0,32	1		
	пропин	0,64	1		
Бутен-1	бутадиен	4,45	1		

## Получениеmonoолефинов дегидрированием алканов

Промышленные процессы дегидрирования (железо-хромовый катализатор, 600 °C)



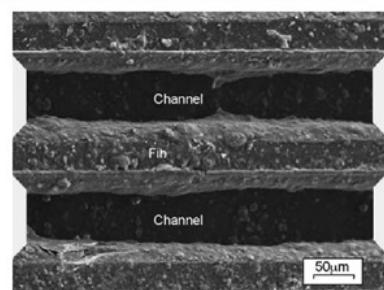
Побочные продукты – яды катализаторов полимеризации



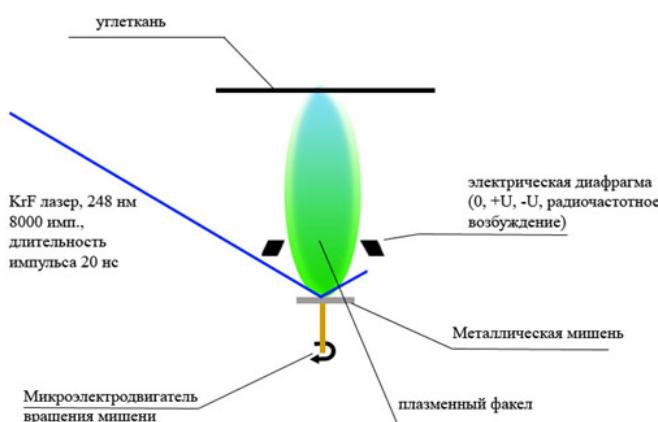
Селективное гидрирование ацетиленов и алкадиенов

# Катализаторы селективного гидрирования

Поколение катализаторов	Содержание палладия, %	Марка катализатора
1	1-5	G-58A, Sud-Chemie Inc.
2	0,1-1	G-83C, Sud-Chemie Inc.
3	0,01-0,1	LD 265, AXEN® G-58B Sud-Chemie Inc.



## Метод лазерной абляции



1. Взаимодействие лазерного излучения с веществом мишени
2. Плавление и испарение материала мишени
3. Перенос в вакууме распыленного материала
4. Осаждение вещества на носитель

# Преимущества метода

- Процесс одностадийный
- Высокая скорость осаждения
- Быстрый нагрев и охлаждение осаждаемого материала
- Возможность получения полиметаллических катализаторов
- Строгая дозировка подачи материала
- Дешевизна метода
- Получение катализаторов с ультрамалым содержанием активного компонента (<0,01%)

Активный компонент	
Pd	Pd+Ag

## Носитель Углеродные ткани

Носитель		
	T1	T2
Ткань содержит диметилсилоксан		Инертный носитель
Термообработан на воздухе (350 °C, 3 часа)		Термообработан на воздухе (350 °C, 3 часа)
Удельная площадь поверхности, м <sup>2</sup> /г		
	3,4	7,2
Элемент	Состав поверхности, атомные концентрации	
C	61,1	83,4
O	31,4	14,7
Si	7,3	-



# Исследование полученных катализаторов

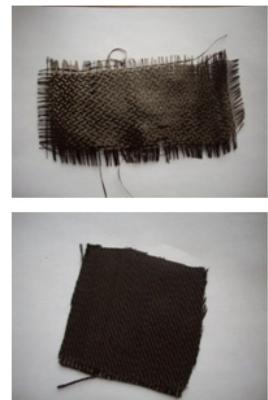
Полученные катализаторы исследовались с помощью методов:

- ✓ Атомно-абсорбционная спектроскопия
- ✓ TEM
- ✓ РФЭС
- ✓ Исследование каталитической активности в реакциях гидрирования

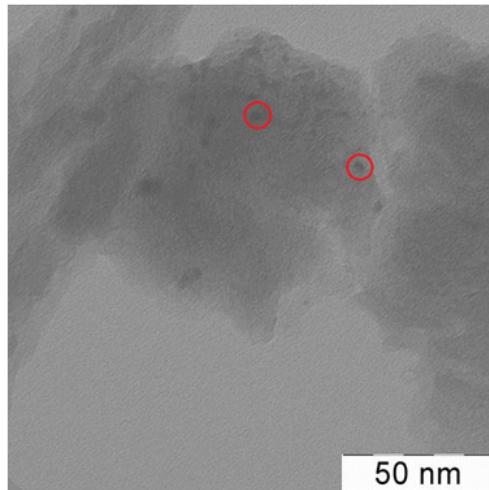
## Количество нанесенного палладия

С помощью AAC было определено содержание палладия в полученных катализаторах

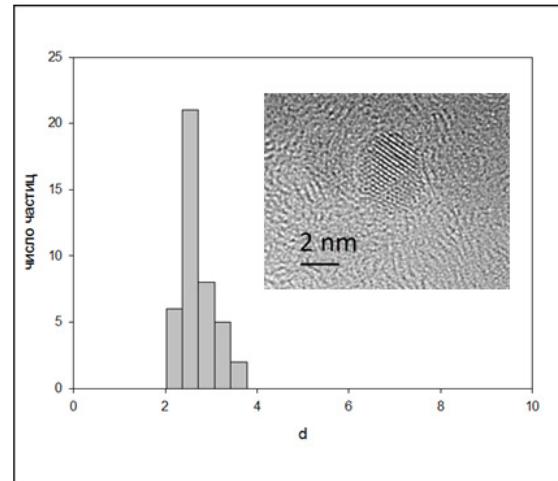
Носитель	Активный компонент	Катализатор	% Pd на 1 г. ткани	Потенциал диафрагмы, В
T1	Pd	PTS1	0,0082	0
		PTS2	0,0033	0
		PTS3	0,0075	+50
		PTS4	0,0038	-40
T2		PT1	0,011	0
		PT2	0,012	0
		PT3	0,014	+50
		PT4	0,014	-40



# Просвевающая электронная микроскопия



Микрофотография образца PTS1



Распределение частиц по размерам на поверхности образца PTS1

## Размеры частиц металла

Носитель	Металл	Катализатор	Размеры частиц, нм	Потенциал диафрагмы, В
T1	Pd	PTS1	2-4	0
		PTS2	2-4	0
		PTS3	2-4	+50
		PTS4	2-4	-40
	Pd	PT1	3-4	0
		PT2	2-4	0
		PT3	4-6	+50
		PT4	2-4	-40
T2	RCH	RCH1	3-4	Радиочастот.
		RCH2	1,5-2,5	Радиочастот.
	Pd, Ag	PA1	2-3	0
		PA2	2-3	Радиочастот.
		PA3	11-16	+50
		PA4	1,8-2,4	-50

# РФЭС

Носитель	Металл	Катализатор	Атомные концентрации, %				
			C	Si	O	Pd	Ag
T1	Pd	PTS1	61,1	7,3	31,4	0,2	-
		PTS2	60,1	7,5	32,3	0,1	-
		PTS3	56,5	9,2	34,1	0,2	-
		PTS4	77,3	3,1	19,5	0,1	-
T2	Pd	PT1	83,4	-	14,7	1,9	-
		PT2	80,7	-	16,1	3,2	-
		PT3	83,2	-	14,7	2,1	-
		PT4	91,2	-	8,8	≤ 0,1	-
		RCH1	76,5	-	17,8	2,0	-
		RCH2	77,9	-	16,9	2,2	-
	Pd, Ag	PA1	77,65	-	18	3,2	1,1
		PA2	77,65	-	17,3	3,3	1,7
		PA3	80,15	-	16,1	2,4	1,3
		PA4	77,85	-	18,9	2,3	0,9

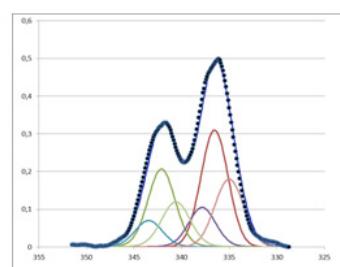
## РФЭС Катализаторы на носителе «T1»

Для палладия на поверхности носителя «T1» характерно три зарядовых состояния.

Энергия связи 336.13 эВ характерна для частиц палладия размером 1-3 нм\*.

Энергия связи 337.24 эВ соответствует оксиду палладия PdO.

Энергия связи 339.06 эВ соответствует сильному взаимодействию палладия с оксидом кремния.



Деконволюированный РФЭ-спектр палладия на поверхности катализатора PTS3

\*J. C. Bertolini, P. Delichere, B. Khanra, J. Massardier, C. Noupa, B. Tardy, *Catal. Lett.* 1990, 6, 215.

# РФЭС

## Катализаторы на носителе «T2»

На носителе «T2» кремний отсутствует.

При расшифровке РФЭ-спектров катализаторов на носителе «T2», выделяются металлический палладий и оксиды палладия.



Деконволюционный спектр катализатора РТ2

Энергия связи в 335.9 эВ характерен для частиц палладия размером 1-3 нм.  
Энергия связи в 337.98 характерен для оксидов палладия.

# РФЭС

## Катализаторы с добавлением серебра

Данные РФЭ-спектров серебра синтезированных катализаторов

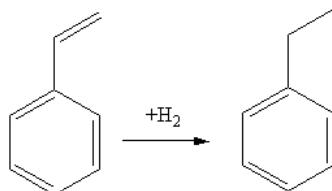
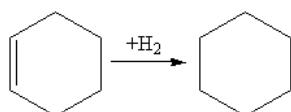
Катализатор	Энергия связи Ag 3d <sub>5/2</sub> , эВ	Соединение	Потенциал диафрагмы, В
РА1	367,82	Pd65Ag35/C	0
РА2	368,51	Pd85Ag15/C	Радиочастот. плазма
РА3	368,57	Pd90Ag10/C	+50
РА4	368,59	Pd90Ag10/C	-50

Исходя из данных РФЭ-спектров на поверхности носителя образуется интерметаллическое соединение. Долю серебра возможно изменять за счет изменения условий синтеза.

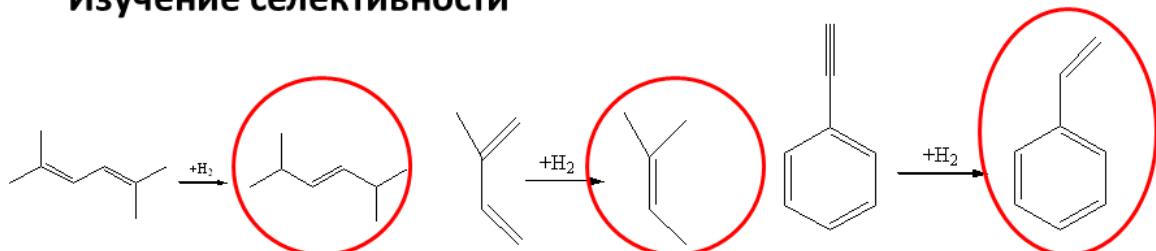
# Исследование катализитической активности

## Модельные реакции

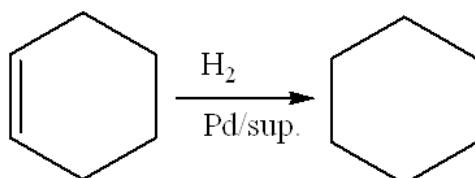
### Изучение активности катализаторов



### Изучение селективности



## Гидрирование циклогексена



Условия реакции: 80 0C, 35 атм. H<sub>2</sub>, 90 мин

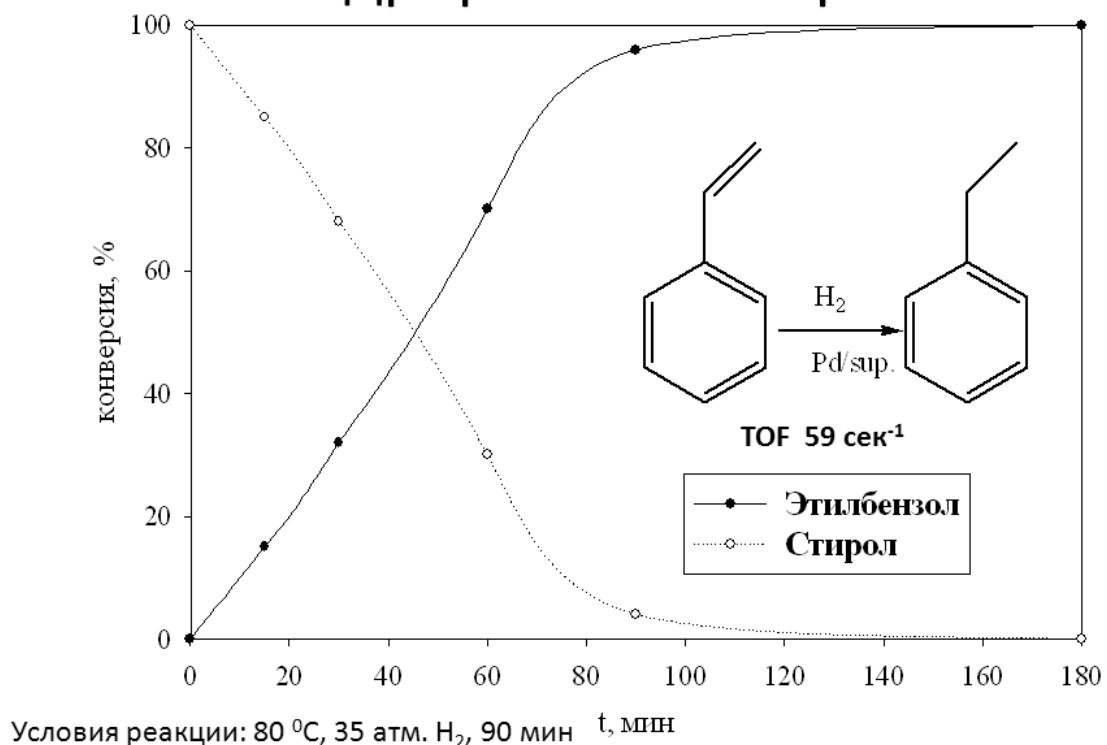
TON (turnover number) – число катализитических актов на одном активном центре

TOF (turnover frequency) - число катализитических актов в секунду на одном активном центре

Носитель	Активный компонент	Катализатор	Размеры частиц, нм	% Pd на 1 г. ткани	TOF, сек <sup>-1</sup>	TON
T1	Pd	PTS1	2-4	0,0082	5	26392
		PTS2	2-4	0,0033	31	165951
		PTS3	2-4	0,0075	12	65164
T2		PT1	3-4	0,011	9	48347
		PT2	2-4	0,012	5	24962
		PT2	4-6	0,014	0,5	2681

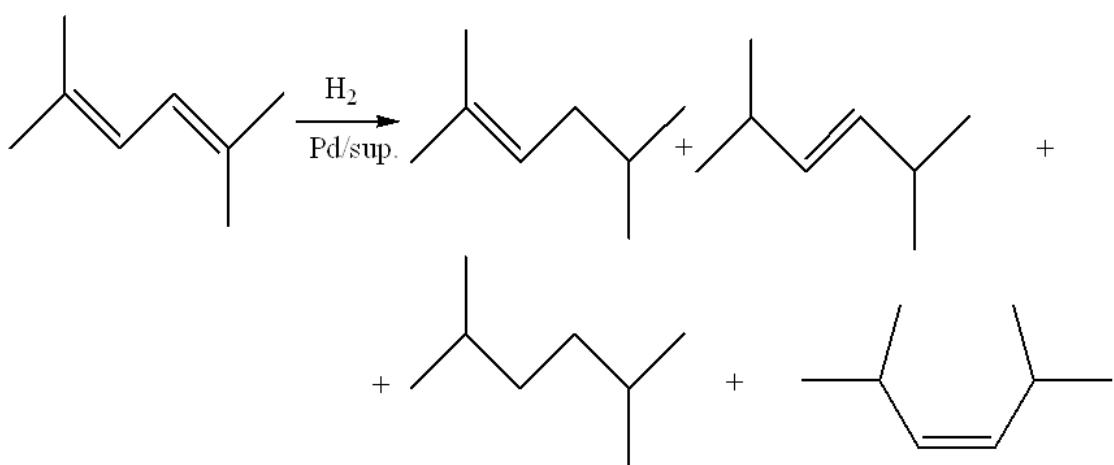
Для Pd/C (wt. 5%) TOF=0,15 сек<sup>-1</sup>

## Гидрирование стирола

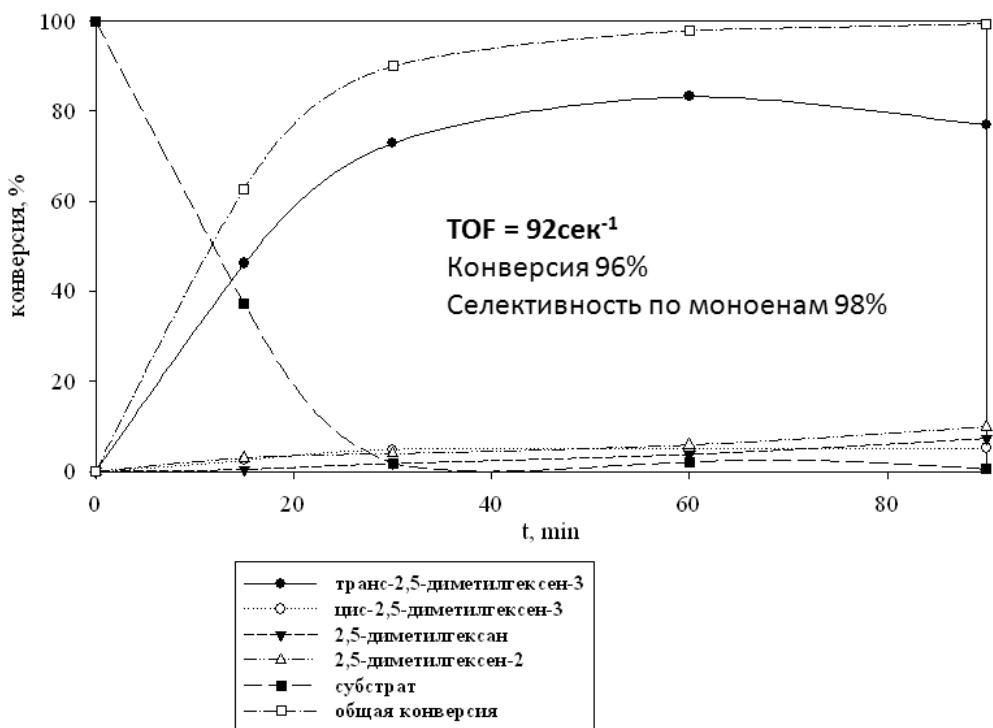


Для  $\text{Pd/C}$  (wt. 5%)  $\text{TOF} = 0,2 \text{ сек}^{-1}$

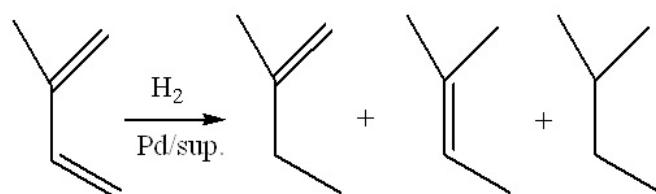
## Гидрирование 2,5-диметилгексадиена-2,4



## Гидрирование 2,5-диметилгексадиена-2,4



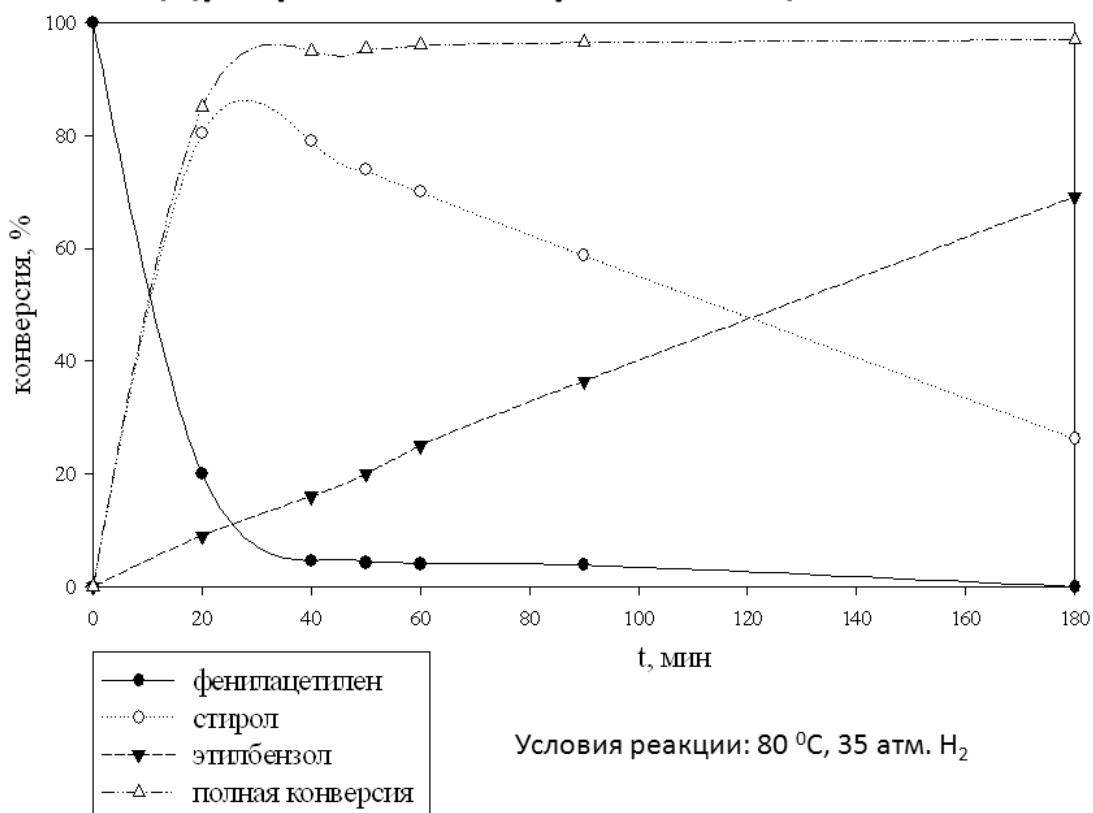
## Гидрирование изопрена



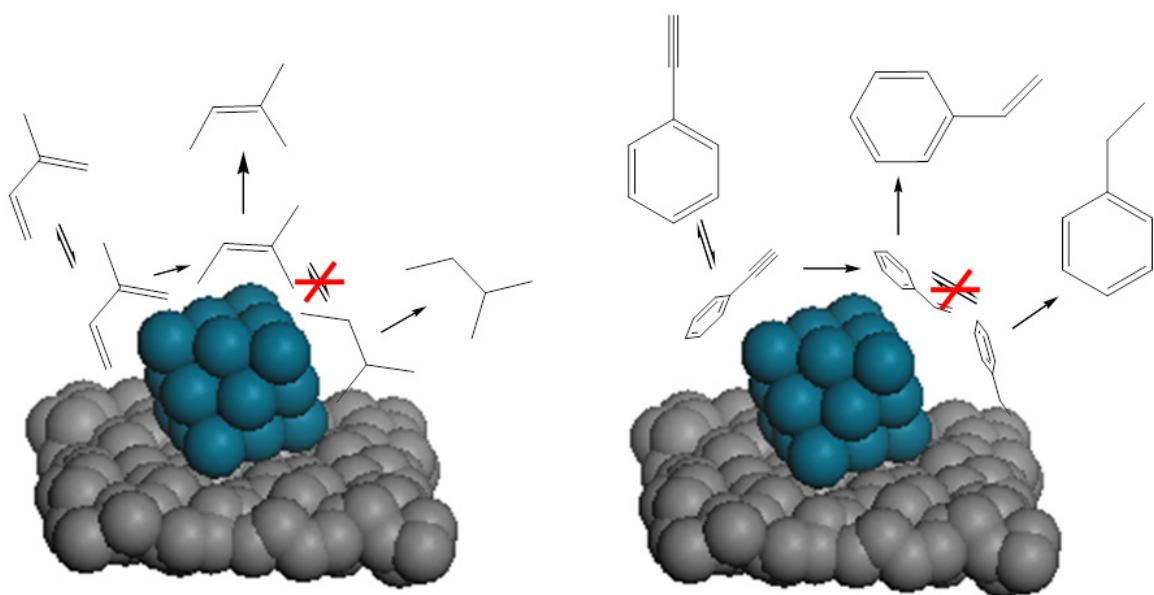
Условия реакции: 80 0C, 35 атм. H<sub>2</sub>, 30 мин

	Pd катализаторы		Pd-Ag катализаторы			
	RCH1	RCH2	PA1	PA2	PA3	PA4
Катализатор	RCH1	RCH2	PA1	PA2	PA3	PA4
Конверсия, %	61	66	86	63	83	71
TOF, сек <sup>-1</sup>	18	16	8	4	4	9
Селективность по моноенам, %	84	89	100	89	99	93

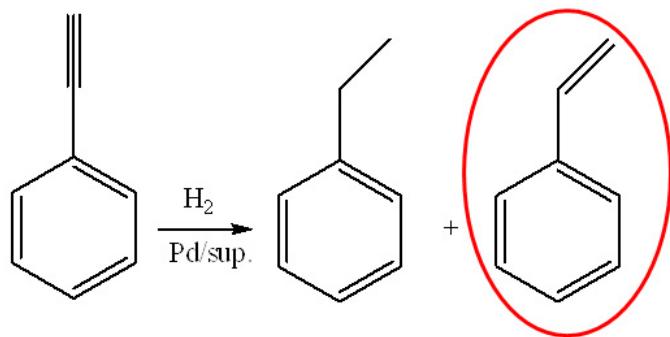
## Гидрирование фенилацетилена



Палладиевые частицы  
обеспечивают селективность по  
моноенам



# Гидрирование фенилацетилена



	Pd катализаторы			Pd-Ag катализаторы			
Катализатор	PTS3	РТ3	РТ4	РА1	РА2	РА3	РА4
Конверсия, %	80	37	86	63	18	33	30
TOF, сек <sup>-1</sup>	145	24	55	11	2	3	7
Селективность, %	88	92	87	92	94	86	96

## Выводы

- Впервые методом лазерной абляции были получены катализаторы с ультрамалым содержанием (0,003-0,01%) палладия с высокой катализитической активностью (TON > 150 000, TOF = 90 сек<sup>-1</sup>).
- Катализаторы демонстрируют высокую селективность по моноолефинам (90%) в гидрировании сопряженных диеновых углеводородов и ацетиленов при высоких конверсиях.
- Установлено, что фенилацетилен гидрируется с высокой селективностью по стиролу на полученных катализаторах (96%).
- Показано, что добавление серебра в процессе напыления металла на носитель позволяет увеличить селективность до 100% в гидрировании диенов и до 92% в гидрировании фенилацетиленов.

## «Гидроизомеризация высших н-алканов и дизельных фракций на катализаторах, содержащих мезопористые материалы»

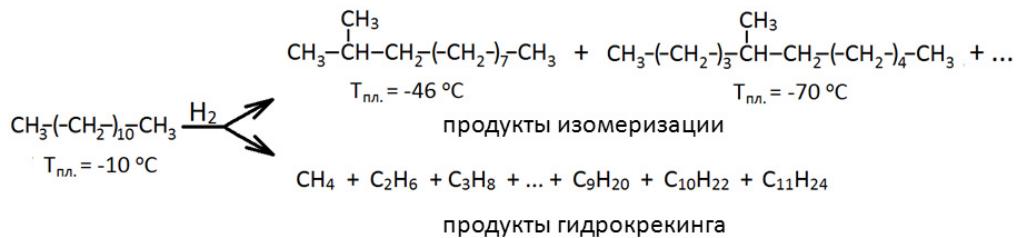
Автор: Широкопояс Сергей Иванович, аспирант Химического факультета МГУ, кафедра химии нефти и органического катализа.

### Производство топлив в России в 2010 году

- Бензин – 35,7 млн. т
- Дизельное топливо – 69,9 млн. т  
в том числе – 14 млн.т зимнего топлива

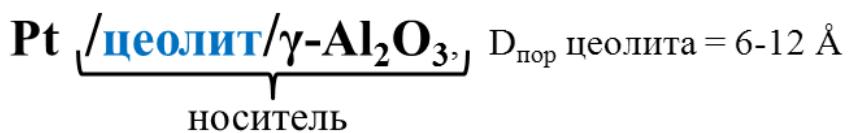
2

### Схема превращений, протекающих в условиях гидроизомеризации



# Гидроизомеризация углеводородных фракций в промышленных условиях

- **Сырье:** Дизельные фракции
- **Условия проведения:**
  - 300-380°C;
  - давление водорода 30-80 атм.;
- **Продукты:** Низкозастывающие дизельные фракции  
( $T_{\text{заст.}}$  от -35 °C до -55 °C)
- **Катализаторы:**

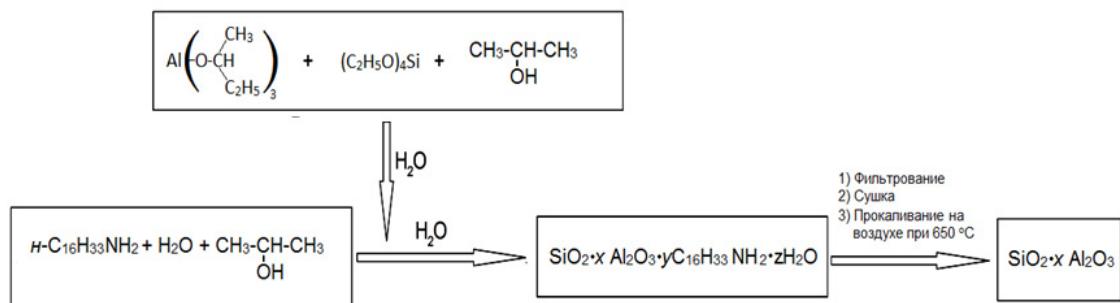


4

## Общий подход к синтезу мезопористых алюмосиликатов



## Получение алюмосиликатов типа Al-HMS ( $D_{\text{пор}} = 35\text{-}50\text{\AA}$ ):



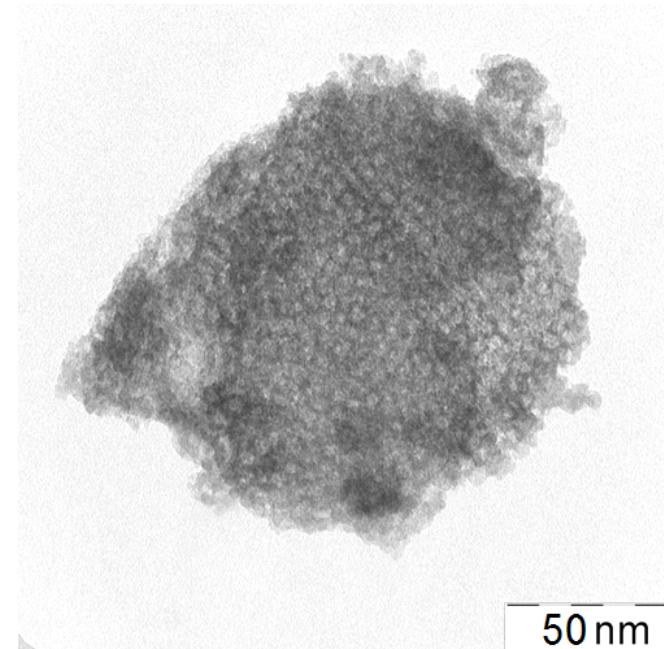
5

## Характеристики полученных алюмосиликатов

Образец Al-HMS	Si/Al	D <sub>пор</sub> , Å	V <sub>пор</sub> , см <sup>3</sup> /г	S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /г
<b>Al-HMS(5)</b>	5	50	1,3	858
<b>Al-HMS(10)</b>	10	35	1,1	1030
<b>Al-HMS(20)</b>	20	51	1,0	673
<b>Al-HMS(30)</b>	30	50	1,2	669
<b>Al-HMS(40)</b>	40	48	1,2	812

6

Микрофотография одного из полученных алюмосиликатов



Электронная фотография (ПЭМ) образца мезопористого алюмосиликата

7

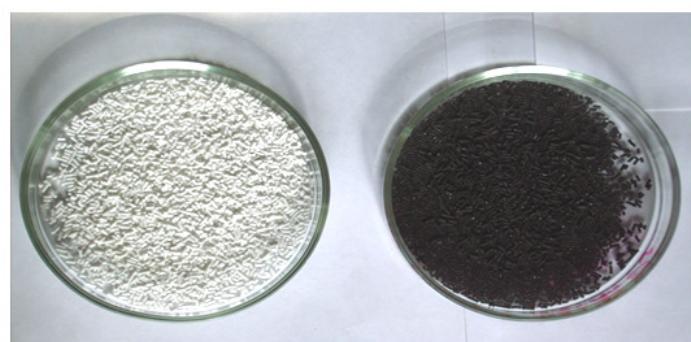
# Приготовление катализаторов

- 1) Получение носителей:

Формовка носителя (диаметр 2 мм), состоящего из 35% Al-HMS и 65%  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

- 2) Нанесение платины:

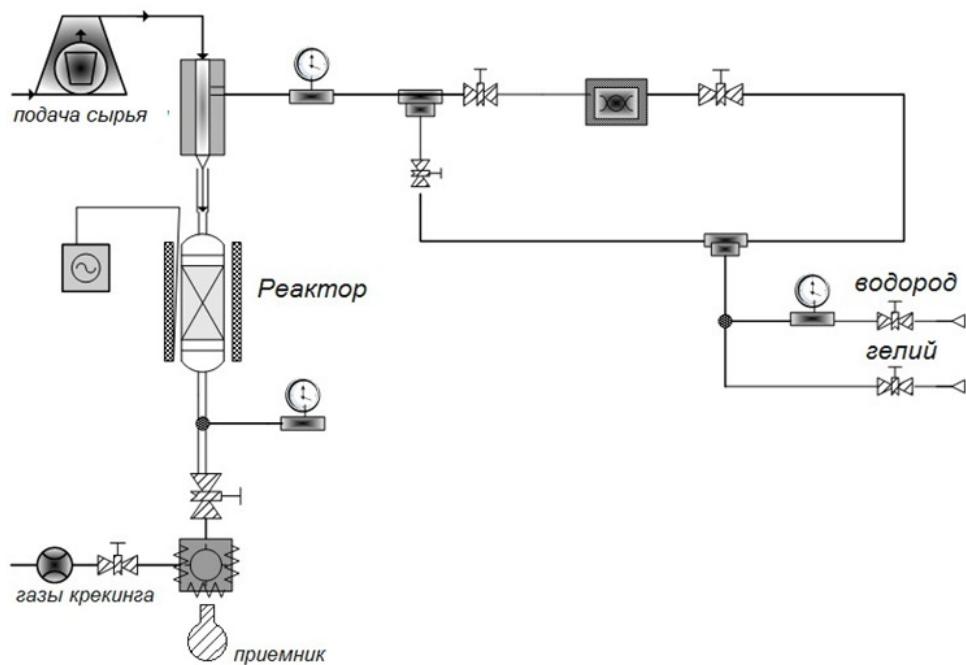
- а) Пропитка раствором H<sub>2</sub>[PtCl<sub>6</sub>]·6H<sub>2</sub>O (0,5 % масс. Pt)
- б) Восстановление в токе водорода



Носитель для катализатора

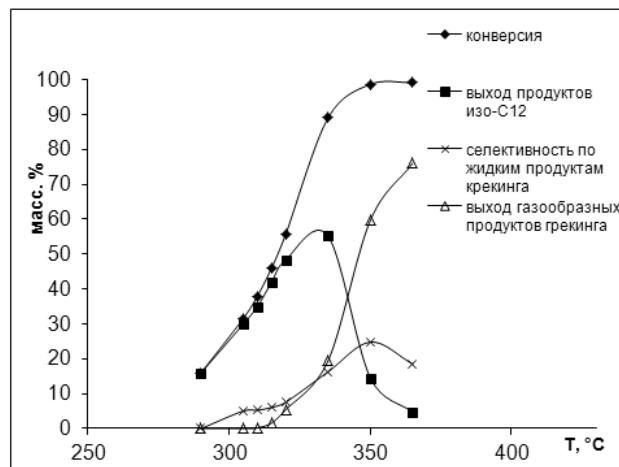
Катализатор

## Схема установки гидроизомеризации



# Изомеризация $n\text{-C}_{12}\text{H}_{26}$ на катализаторе Pt /Al-HMS(10) /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

T, °C	Конверсия, масс. %	Селективность по изо- $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ , %	Выход, масс. %	
			жидких продуктов крекинга до $\text{C}_{11}\text{H}_{24}$	изо- $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$
290	22	~100	0	22
305	32	97	1,2	31
310	40	95	2,0	38
315	46	91	2,8	42
320	56	82	4,3	46
335	89	62	15	55
350	99	15	25	15



10

# Изомеризация $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$ на катализаторе Pt /Al-HMS(20) /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

T, °C	Конверсия, масс. %	Селективность по изо- $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ , %	Выход, масс. %:		
			газообразных продуктов	жидких продуктов крекинга до $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$	изо- $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$
280	13	92	0	0,3	12
289	20	95	0	0,5	19
300	31	97	0	0,9	30
310	45	98	0	1,2	44
314	46	87	1,1	5,3	40
320	59	66	3,2	17	39
329	69	58	6,3	23	40
334	75	45	9	32	34
341	86	31	11	48	27
350	87	29	11	51	25

11

# Результаты гидроизомеризации дизельной фракции

Характеристики	Исходная дизельная фракция	Продукт гидроизомеризации
содержание серы, мг/кг	7	менее 7
температура застывания, °С	минус 15	минус 43
Температура помутнения, °С	минус 12	минус 31
Предельная температура фильтруемости, °С	минус 15	минус 42

12

Разработаны катализаторы гидроизомеризации высших *n*-алканов, на основе мезопористых алюмосиликатов – 0,5%Pt/35%Al-HMS/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Si/Al = 10 и 20).

Установлены оптимальные условия гидроизомеризации *n*-C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>, *n*-C<sub>16</sub>H<sub>34</sub> и дизельных фракций различного состава.

Разработанные катализаторы позволяют получать дизельные фракции, которые по температуре застывания, температуре помутнения, предельной температуре фильтруемости соответствуют требованиям, предъявляемым к зимним маркам топлив.

13

## **«Олигомеризация децена-1 в присутствии $WO_3/ZrO_2$ »**

Автор: Решетников Дмитрий Михайлович, аспирант Института нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН.

# **Олигомеризация децена-1 в присутствии $WO_3/ZrO_2$**

Решетников Д.М.

ИНСТИТУТ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА им. А.В. ТОПЧИЕВА РАН  
Москва 2011

# Содержание

1. Значимость процесса олигомеризации децена-1
2. Традиционные катализаторы процесса
3. Проблемы гетерогенного катализа
4. Текущие результаты

2

## Значимость процесса олигомеризации децена-1

Олигомеризация является ключевым этапом в получении синтетических масел IV группы (ПАОМ)



Условия процесса полностью определяют товарные свойства получаемого продукта.

3

# ПАОМ

- низкая температура застывания обеспечивает высокую прокачиваемость масла, легкий запуск двигателя при минусовых температурах, что позволяет использовать их в различных климатических условиях;
- термоокислительная стабильность снижает окисляемость масла при высоких температурах в двигателе, сокращает образование отложений;
- низкая испаряемость сокращает частоту доливки масла;
- длительный пробег масла в тяжелых эксплуатационных условиях(увеличение срока эксплуатации в 1,5-2 раза по сравнению с минеральными маслами);
- совместимость с минеральными маслами и эфирами.
- отсутствие серы
- самые дешевые синтетические масла

4

## Традиционные катализаторы олигомеризации высших олефинов:

**$AlCl_3$ ,  $Al(C_2H_5)_2Cl$  или  $Al(C_2H_5)_3$ ,  
мелкодисперсный алюминий,  
 $BF_3$ , ВАКХАТ,  $TiCl_4$ , и т.п.;**

### Достоинства:

- высокая активность,
- оптимальное соотношение линейных и разветвленных продуктов.

### Недостатки:

- высокие токсичность и коррозионная активность,
- проблемы отделения металлокомплексных катализитических систем от продуктов.

5

# Проблемы гетерогенного катализа

Возможен ли гетерогенный катализатор для реакции?

**Против:**

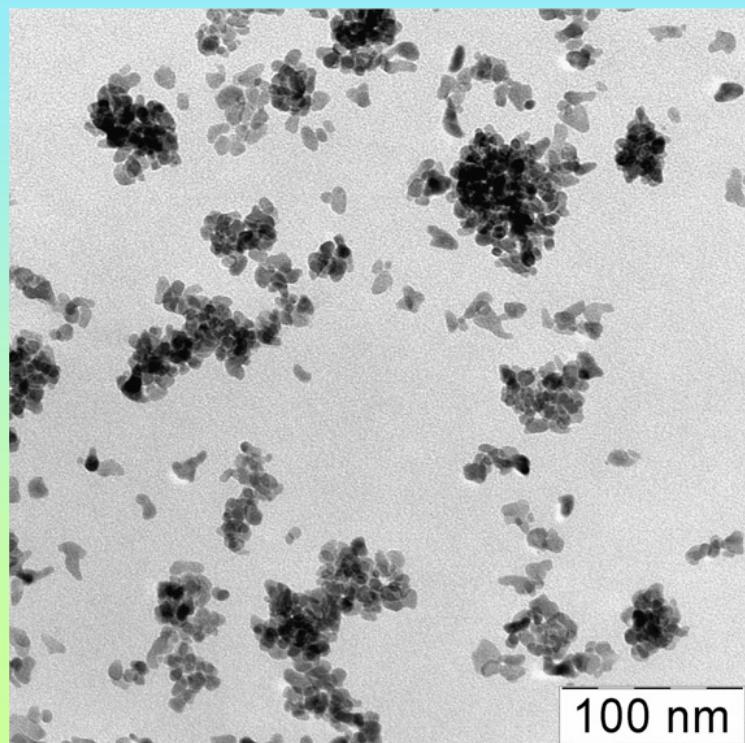
1. Образуется объемный продукт, что приведет к закупориванию пор и, как следствие, быстрой дезактивации катализатора.
2. Степень олигомеризации будет ограничена стерическим фактором.
3. Крекинг олигомеров на кислых центрах катализатора

**За:**

1. Большое количество систем с различными свойствами

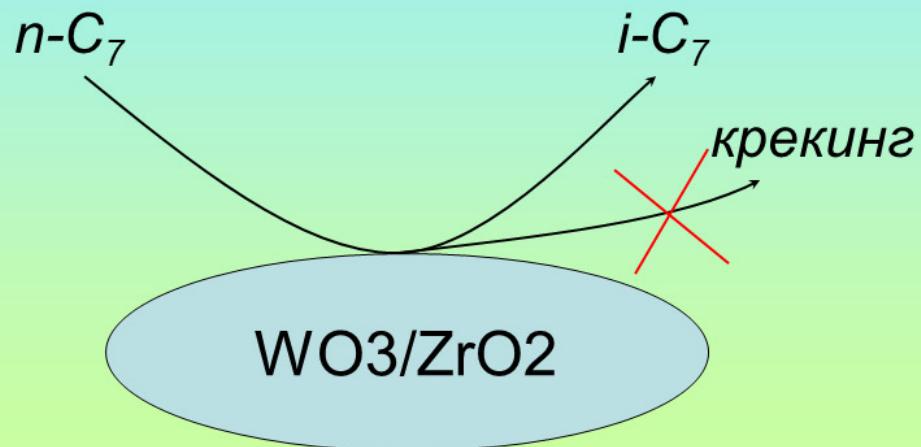
6

Нет пор – нет проблем



7

## Регулировка кислотности и природы кислых центров на поверхности



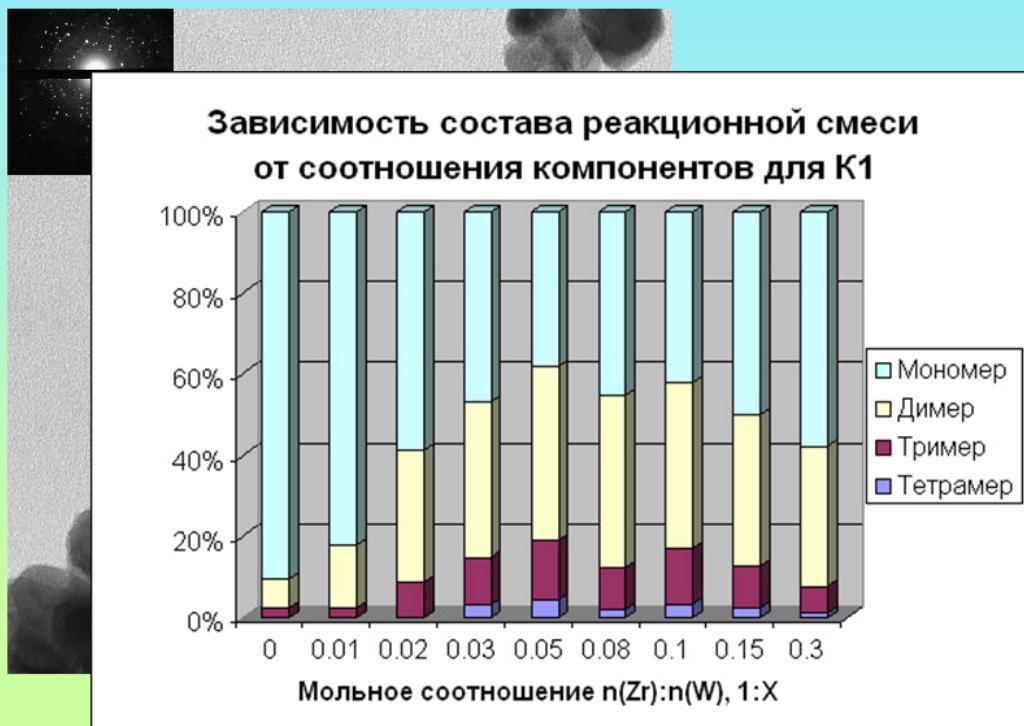
8

## Текущие результаты

Разработаны три каталитические системы на основе  $\text{WO}_3/\text{ZrO}_2$ , различающиеся структурой поверхности, степенью агломерации и активностью в реакции олигомеризации высших олефинов.

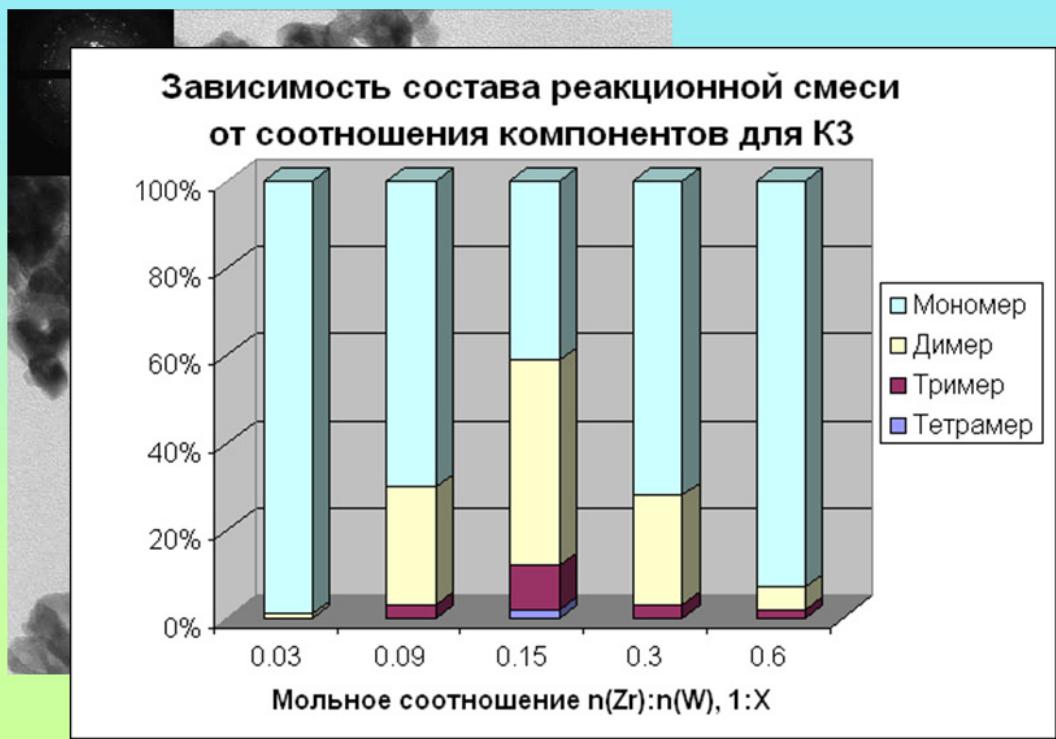
9

# К1



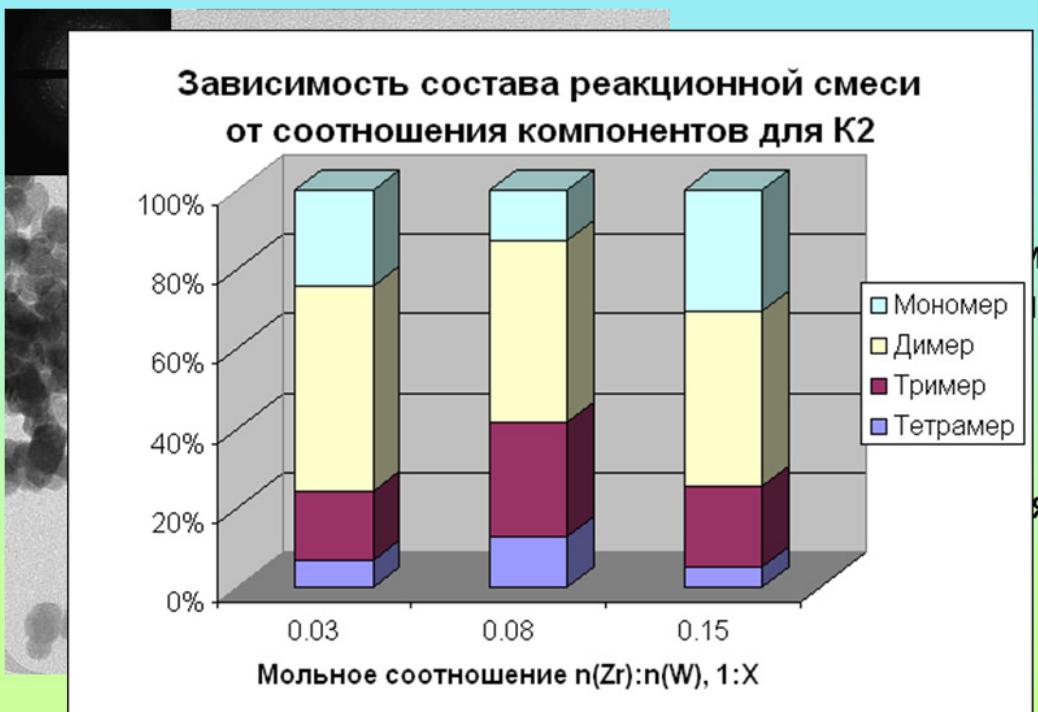
10

# К3



11

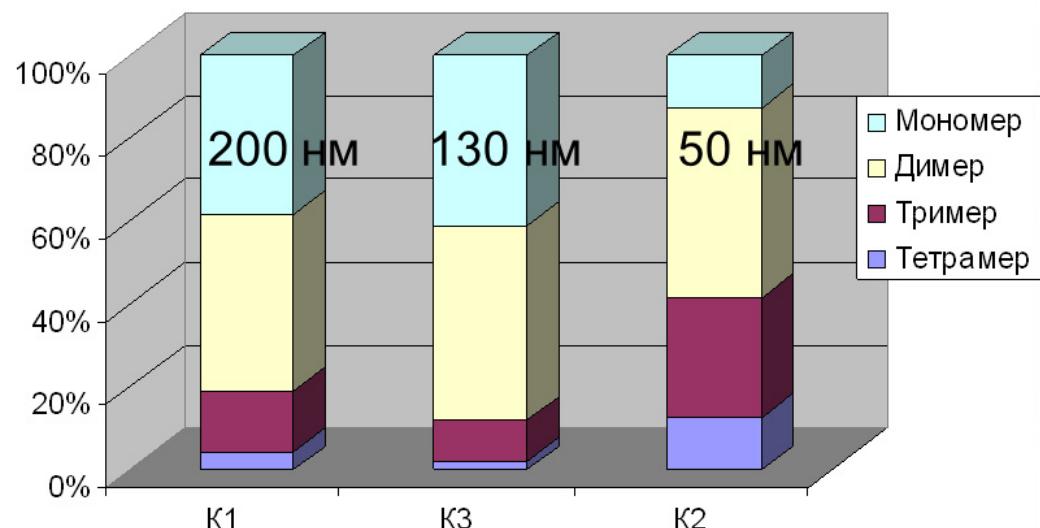
## K2



12

## Результаты

### Состава реакционной смеси для лучших образцов в сериях



## Раздел 2 «Геофизические исследования»

В рамках конкурса «Инновационные проекты ВУЗов для нефтегазовой отрасли» по направлению «Геофизические исследования» был представлен доклад Спиридонова Василия Альбертовича, д.б.н. Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. По теме: «Экологические проблемы освоения Арктики».

На сегодняшний день экологические проблемы освоения Арктики является актуальным вопросом, требующим незамедлительных решений. В лекции был предложен новый подход к обеспечению экологической безопасности крупных морских и береговых нефтегазовых проектов.

- Морские и береговые нефтегазовые проекты должны рассматриваться не изолированно, а в контексте комплексного управления морями и функционального зонирования морских акваторий
- На стадии планирования и предпроектных исследований в первую очередь должно быть минимизировано воздействие на узловые биотопы экосистем морей и береговой зоны
- Нужны новые системы мониторинга с высокой разрешающей способностью и эффективными обратными связями на различных стадиях реализации проектов

**«Экологические проблемы освоения Арктики».**



## Экологические проблемы освоения нефтегазовых месторождений

В.А.Спиридонос

Институт океанологии им. П.П.  
Ширшова РАН



## Нефтегазовые провинции российских морей



## Российские трубопроводы



Источник: Бамбуляк, Франтцен, 2009



Проекты Сахалин 1 и Сахалин 2 стали известны в том числе и потому, что затрагивали районы летнего обитания западно-тихоокеанских серых китов (рассматриваемых как редкая и практически исчезающая популяция – Красный список IUCN, Красная книга РФ)

Несколько специализированных портов  
отгружают нефть и нефтепродукты,  
транспортируемые по железной дороге



Порт Витино  
отгружает до 5  
миллионов т сырой  
нефти (2003, 2008)

Источник: Бамбуляк, Франтцен, 2009

## Завод СПГ в Пригородном (юг Сахалина)



Фото 2003 г.

Источник: Газпром

Морской ледоустойчивый терминал у  
Варандея (Печорское море) введен в  
эксплуатацию в 2007 г.



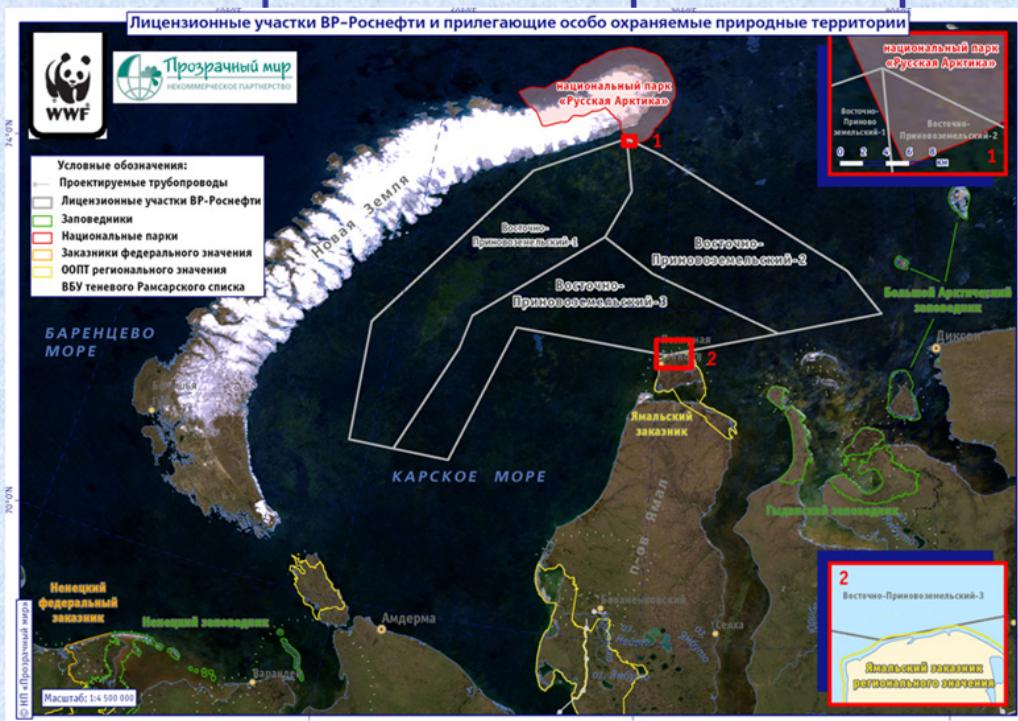
Источник: *Belfreigt*



Платформа  
Арктическая,  
построенная в  
Северодвинске для  
освоения  
месторождения  
Долгинскон в  
Печорском море

Источник Звездочка; из Бамбуляк, Франтцен, 2009

# Меняющаяся Арктика: лицензионные участки планировавшегося альянса Роснефть'/BP в Карском море



Что произойдет, если катастрофа масштаба, сравнимого с той, которая произошла в Мексиканском заливе случится в Арктике ???



Фото: WWF

## Риски морской транспортировки

Интенсивность перевозок (тысяч проходов танкеров/ год): *La Manche* (270), *Pas de Calais* (130), *Gibraltar* (более 150), *Straits of Malacca and Bab al Mandab* (по 50), *Босфор* (20), *Керченский пролив* (10).



Для каждого супертанкера в среднем 100 раз в году возникает ситуация с риском аварии

## Катастрофа в Керченском проливе – “Волгонефть-139” – разлив около 2000 т мазута



# Случай “Волгонефти - 139”



Распространение мазутного пятна спустя 18 часов после Катастрофы 23.00 MZT 11.11.2007  
Источник: Фащук, 2008

После кораблекрушения “Волгонефть-139”  
Источник: ECA|UNEP

## Непосредственное воздействие: более 30 тысяч мертвых водных птиц



Попытки спасти:  
волонтеры на станции  
реабилитации птиц,  
организованной WWF России

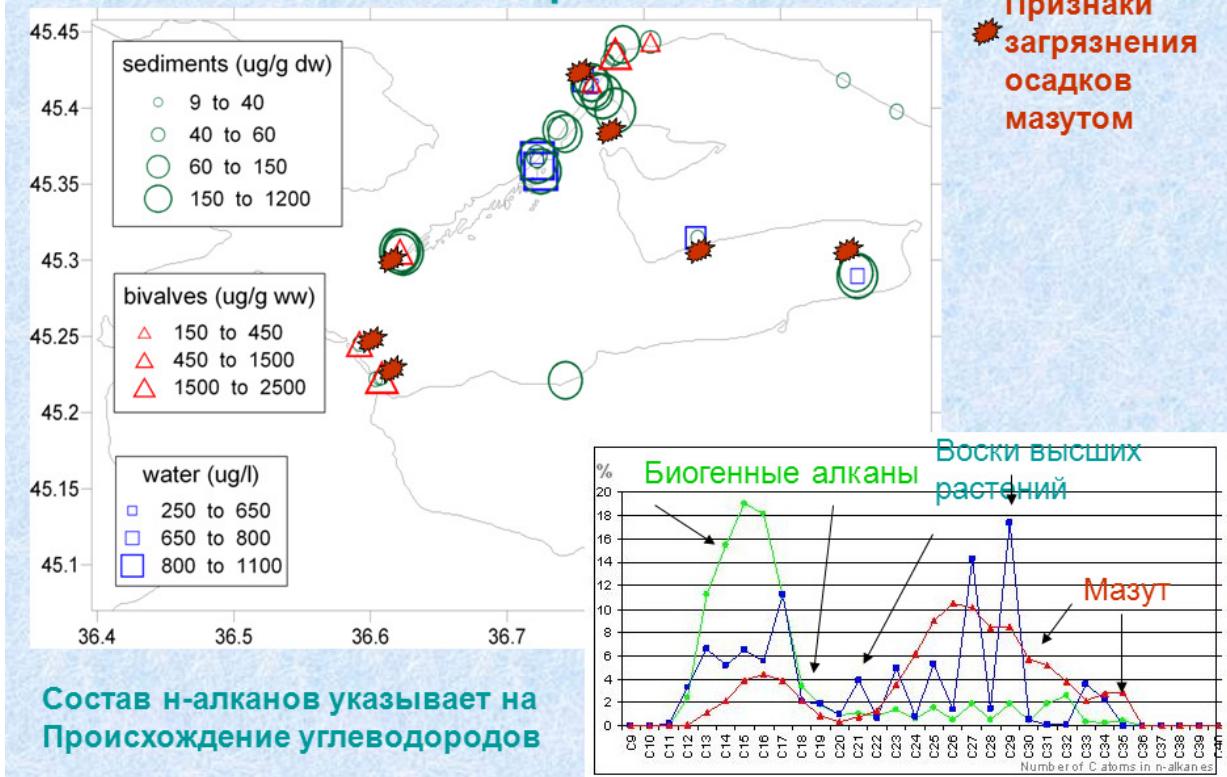


Фото: WWF России

## Изучение последствий: экспедиция ИО РН и WWF России зимой 2008 г.



## Углеводороды в донных осадках – март 2008 г.



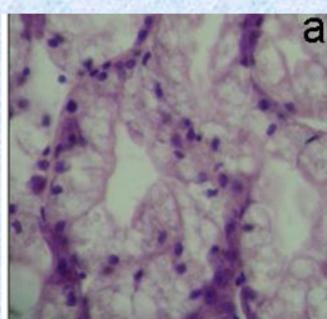
# Опасность развития болезни морской травы в Таманском заливе

- Найден возбудитель
- *Labirinthula zosterae*
- Обычно он живет в отмирающих листьях зостеры
- Но может инфицировать живую Zostera при неблагоприятном внешнем воздействии
- Таким образом морские луга в районе Таманского и Керченского полуостровов находятся под постоянной угрозой

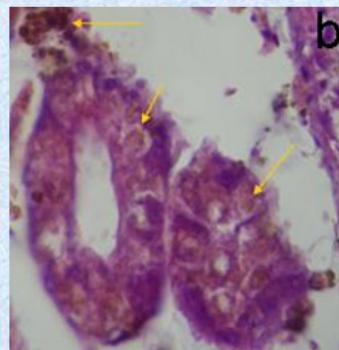


## Гистопатологические исследования

Большое количество цероидных пигментных гранул в пищеварительной железе мидий указывают на подавленную активность антиоксидантных энзимов у моллюсков в районе разлива мазута



Нормальная пищеварительная железа



Измененная пищеварительная железа у мидий в районе косы Тузла, март 2008

# Как может проявляться воздействие морской добычи и транспортировки углеводородов

- Через аварии и катастрофы. Масштаб от 10 кв км до сотен тысяч квадратных километров.
- Через загрязнение и изменение среды при регулярных операциях по разведке, обустройству и эксплуатации месторождений, строительству и функционированию трубопроводов и терминалов. Масштаб от 1 кв км до тысяч кв км
- Особый случай: интродукция видов вселенцев
- Через косвенные эффекты (тесно связано с социальным воздействием)



В России резко доминирует ведомственный (секторальный) подход к использованию морей, что чревато коррупцией, часто ведет к провалу крупных проектов, увеличивает риски для экосистем береговой зоны и приводит к отсутствию стратегии устойчивого развития приморских регионов в наше время перемен

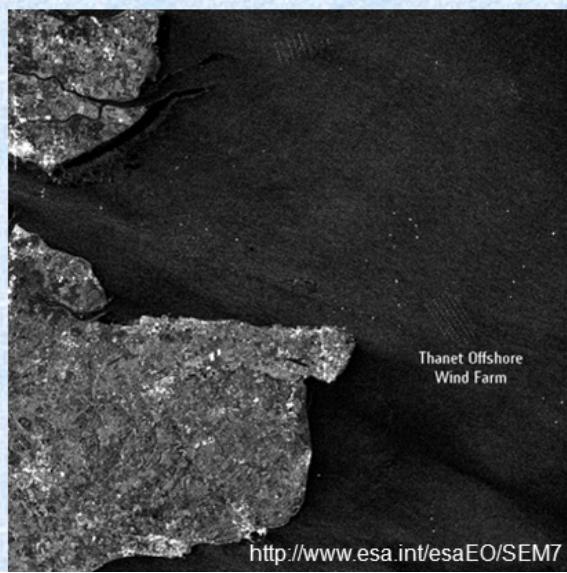


Фото: ECAI/UNEP, WWF Russia, В. Спиридов

# Новый подход к обеспечению экологической безопасности крупных морских и береговых нефтегазовых проектов

- Эти проекты должны рассматриваться не изолированно, а в контексте комплексного управления морями и функционального зонирования морских акваторий
- На стадии планирования и предпроектных исследований в первую очередь должно быть минимизировано воздействие на узловые биотопы экосистем морей и береговой зоны
- Нужны новые системы мониторинга с высокой разрешающей способностью и эффективными обратными связями на различных стадиях реализации проектов

Функциональное зонирование –  
это предлагаемый нами перевод  
термина  
*spatial planning*, который получил  
большое распространение за  
пределами России



## Что такое функциональное зонирование (marine spatial planning) морских акваторий – ФЗМА (Ehler, Douvere, 2009)

Определение	Отличительные черты (в идеальном случае)	Последовательные шаги
<p>ФЗМА – это общественно признанная деятельность по анализу и организации пространственно-го и временного распределения человеческой деятельности в море для достижения экологических, экономических и социальных целей, обычно определяемых в ходе политического процесса.</p>	<p>Экосистемный подход: соблюдение необходимого баланса экологических, экономических и социальных целей и задач в интересах устойчивого развития.</p> <p>Интегрированность: преодоление ведомственных барьеров и независимость от бюрократической иерархии.</p> <p>Основанность на локальных и региональных особенностях.</p> <p>Адаптивность: способность извлекать уроки из опыта.</p> <p>Стратегическая проработанность и ориентация на завтрашний день.</p> <p>Вовлеченность в процесс всех заинтересованных сторон.</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Определение потребностей и ответственной организации.</li><li>2. Получение финансовой поддержки.</li><li>3. Организация процесса через предварительное планирование.</li><li>4. Вовлечение в процесс заинтересованных сторон.</li><li>5. Определение и анализ существующих условий.</li><li>6. Определение и анализ будущих условий.</li><li>7. Подготовка и утверждение плана управления функционально зонированной акваторией.</li><li>8. Осуществление плана и контроль его выполнения.</li><li>9. Мониторинг и оценка того, что получается на самом деле (performance).</li><li>10. Адаптивное изменение управления функционально зонированными акваториями.</li></ol>

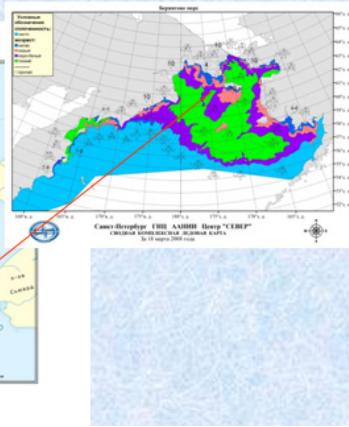
## «Узлы» арктических морских экосистем

- Фронтальные зоны
- Заприпайные полыни и районы кромки льдов
- Затапливаемые морем лайдовые берега
- Устьевые системы рек

Одним из важнейших «узлов» арктических морских экосистем являются заприпайные полыньи – это регулярно возникающие в зимний и весенний период обширные пространства чистой воды или молодого льда, окруженные дрейфующими льдами



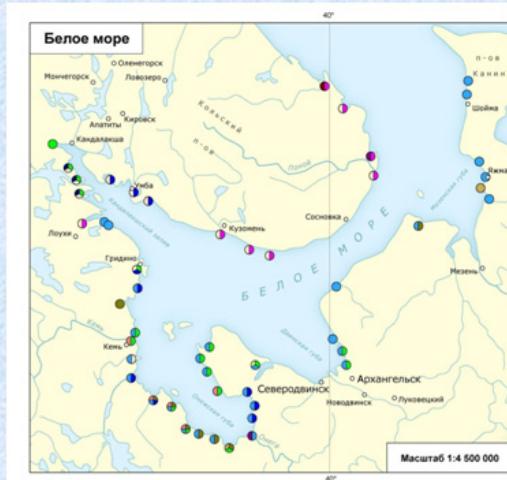
Карта показывает максимальное распространение некоторых полыней в ноябре – мае на основе данных ААНИИ



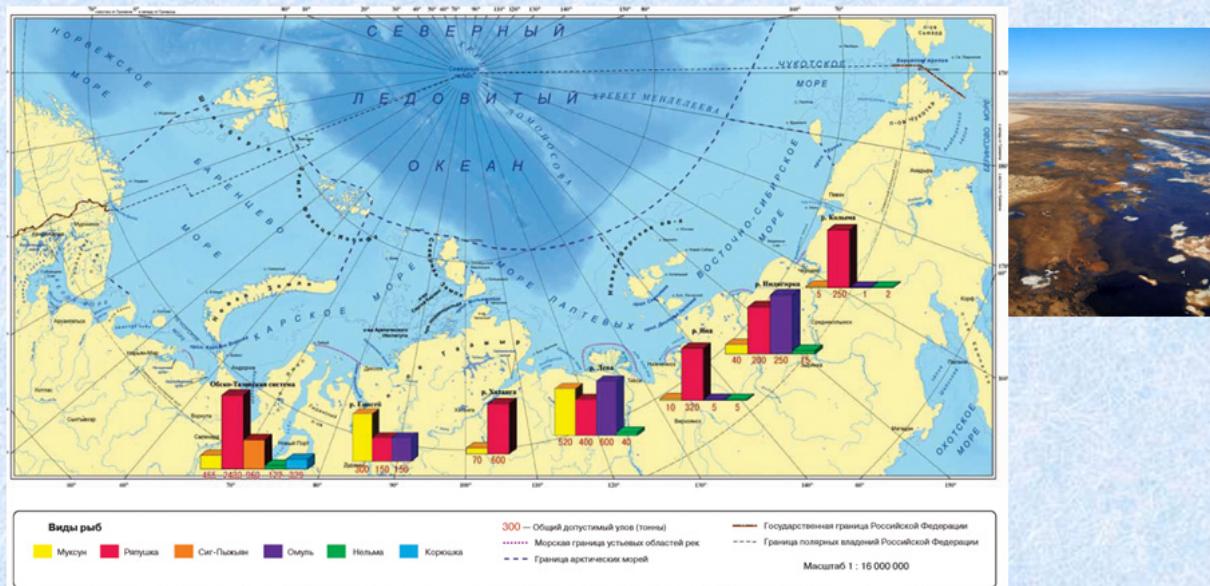
## Полыньи это ...

- «Фабрики» морского льда
- Очаги раннего развития планктона
- Стимуляторы пополнения популяции сайки, или полярной тресочки
- Каналы для потоков органики на морское дно
- Места зимовок и миграционные каналы морских птиц и млекопитающих
- Очаги развития древних морских культур

# Лайды и марши: там где море встречается с сушей

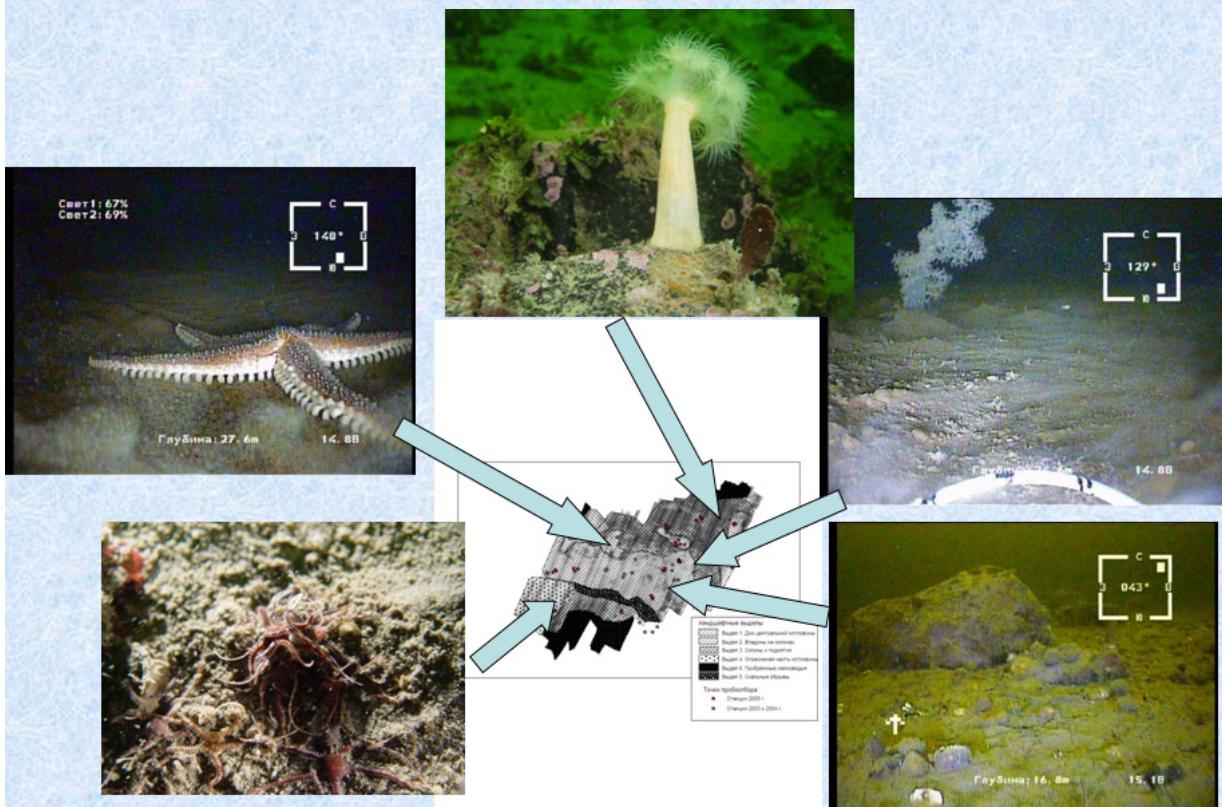


## Системы биотопов: устьевые системы важнейших рек и запасы полупроходных рыб



# Необходимость нового подхода к мониторингу

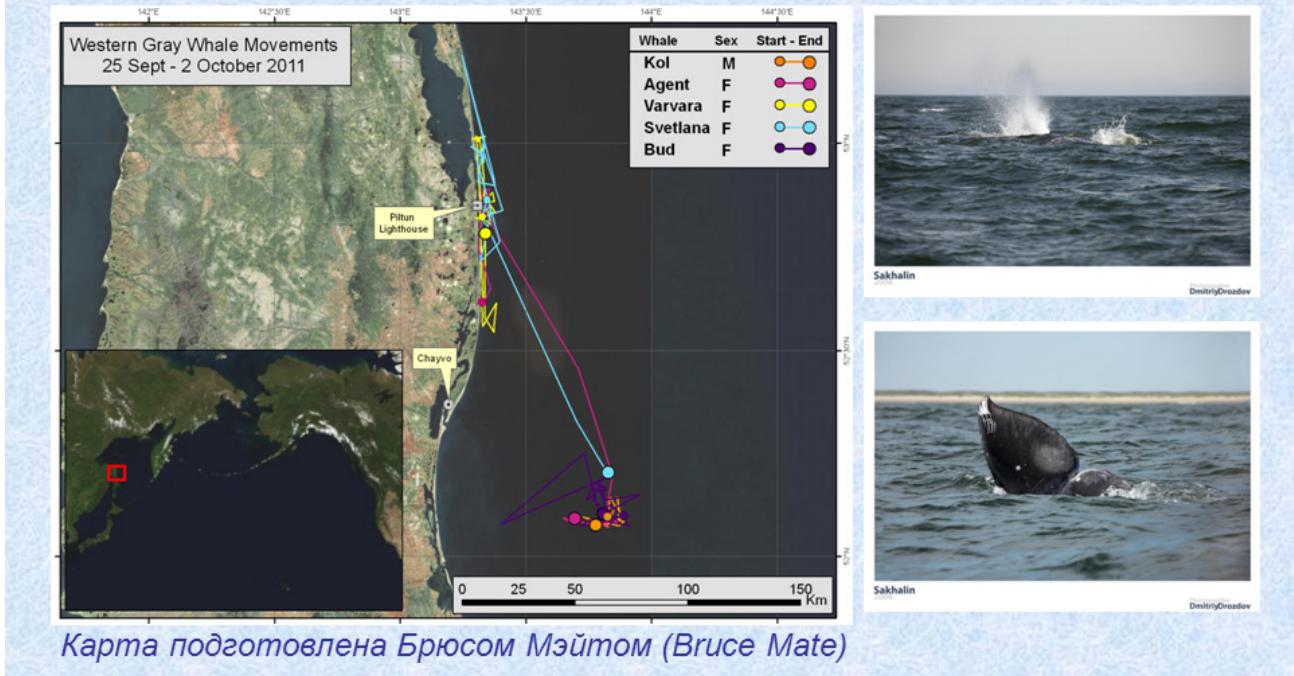
- Учет меняющихся климатических условий
- Инструментальные методы и анализ изменений донных и береговых ландшафтов и биотопов
- Биотестирование и биомаркеры
- Социо-экологический мониторинг



**Будущее мониторинга: картографирование и изучение донных биотопов и сообществ с помощью инструментальных методов (технология, разрабатываемая геофизиками и биологами МГУ в сотрудничестве с ИО РАН на ББС МГУ**

Возвращаясь к Сахалину: проблема сохранения серых китов, поднятая учеными и природоохранными организациями, стимулировала поиск новых технологических решений и исследования самих китов, о которых мы знаем теперь гораздо больше, чем в начале проектов

и лучше представляем как их надо охранять



Помимо доклада, по данной тематике было предложено 2 конкурсных работы:

## **«Технология мониторинга состояния донных экосистем акваторий».**

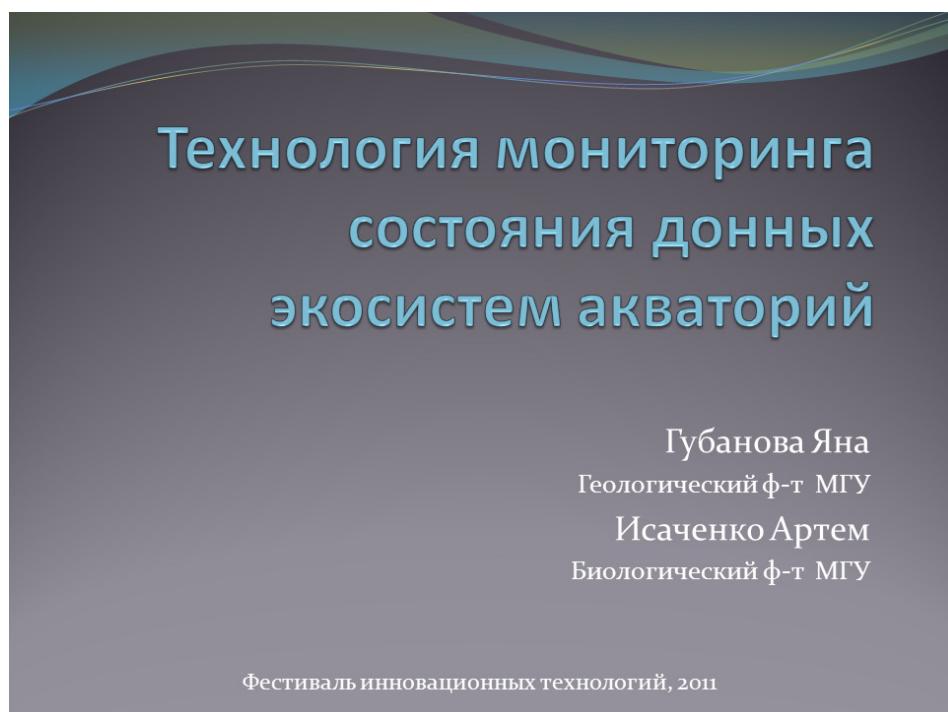
Соавторство: Губанова Яна Евгеньевна, аспирант Геологического факультета МГУ, Исаченко Артем Игоревич, аспирант Биологического факультета МГУ. Аннотация: Проект основан на результатах картографирования донных сообществ в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ (о. Высокий, Ругозерска губа, Белое море).

В ходе проведения работ помимо традиционно применяемых океанографических методов были использованы данные гидролокации бокового обзора. Дистанционные акустические методы успешно используются для катографирования морских осадков. В последнее время наряду с другим гидроакустическим оборудованием локаторы бокового обзора стали применять для поиска и изучения различных биологических объектов – от отчетливых совокупностей организмов до полного картографирования живого покрова дна.

Картографирование донных сообществ с использованием гидролокатора бокового обзора основано на следующих принципах:

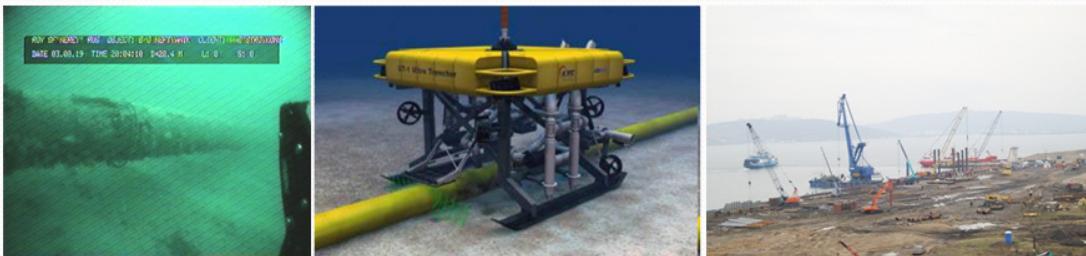
- а) существования достаточно однозначной связи между типом грунта и составом донного населения;
- б) получения отраженного сигнала отражающего не только тип грунта, но и состав донного населения.

Использование совокупности данных, полученных при помощи традиционных методов пробоотбора и гидроакустических исследований, позволяют значительно увеличить качество получаемых данных и точность картографирования при работе на большой площади.



# Области применения

- Установка буровых платформ
- Прокладка трубопроводов
- Разработка месторождений строительных материалов
- Строительство



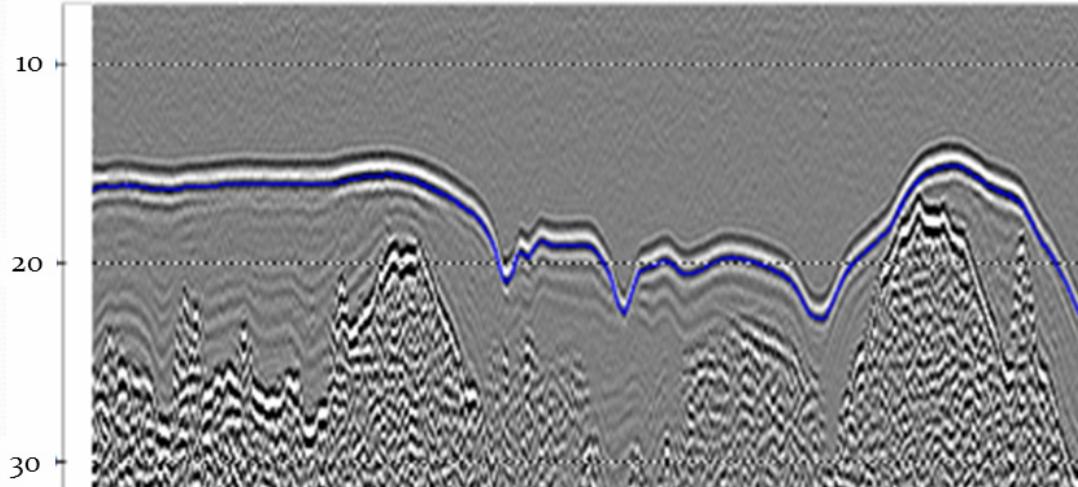
# Технология мониторинга

- Дистанционные методы
  - Сейсмоакустика
  - Гидролокация бокового обзора
- Прямые методы
  - Пробоотбор
  - Подводные фото- и видеонаблюдения



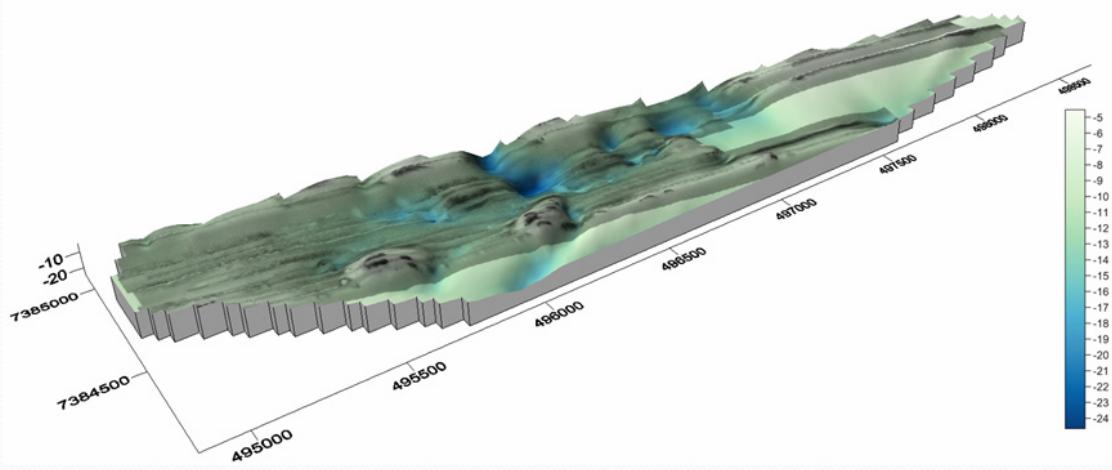
# Сейсмоакустические данные

- Геологическое строение
- Мощность современных осадков



# Гидролокация бокового обзора

- Батиметрия
- Площадное распределение литологических разностей



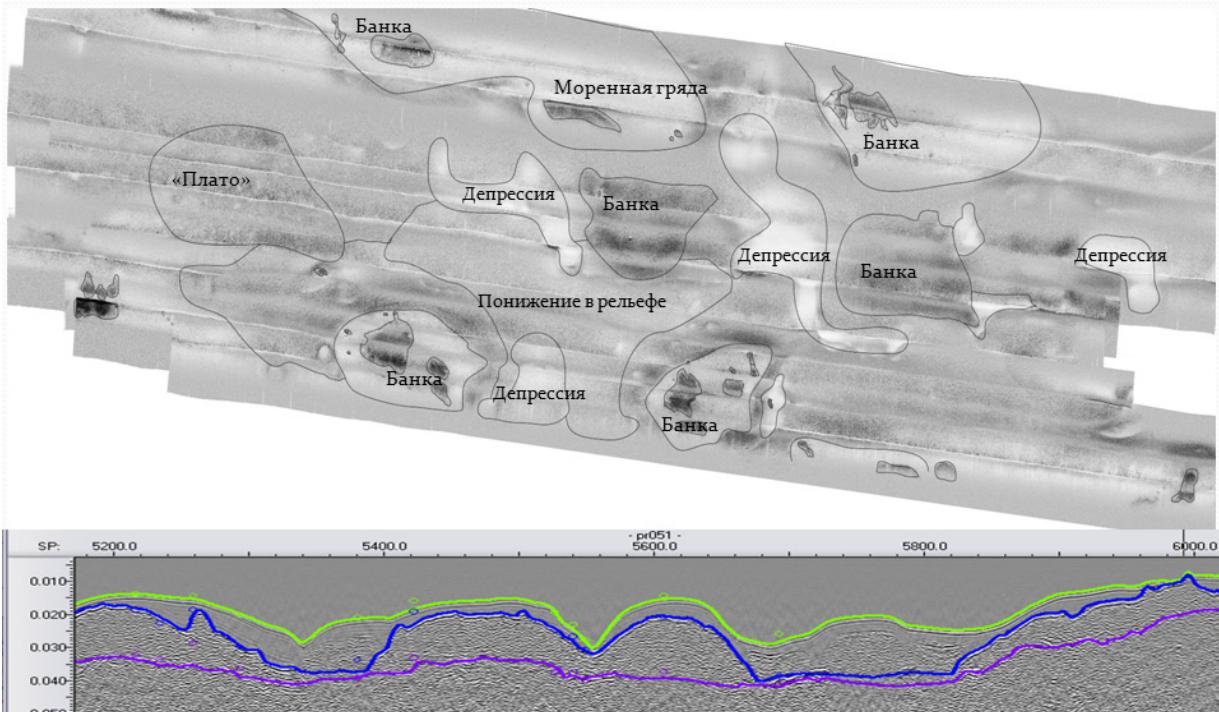
# Прямые методы наблюдения



- Гранулометрический состав
- Биологическое разнообразие
- Верификация дистанционных методов

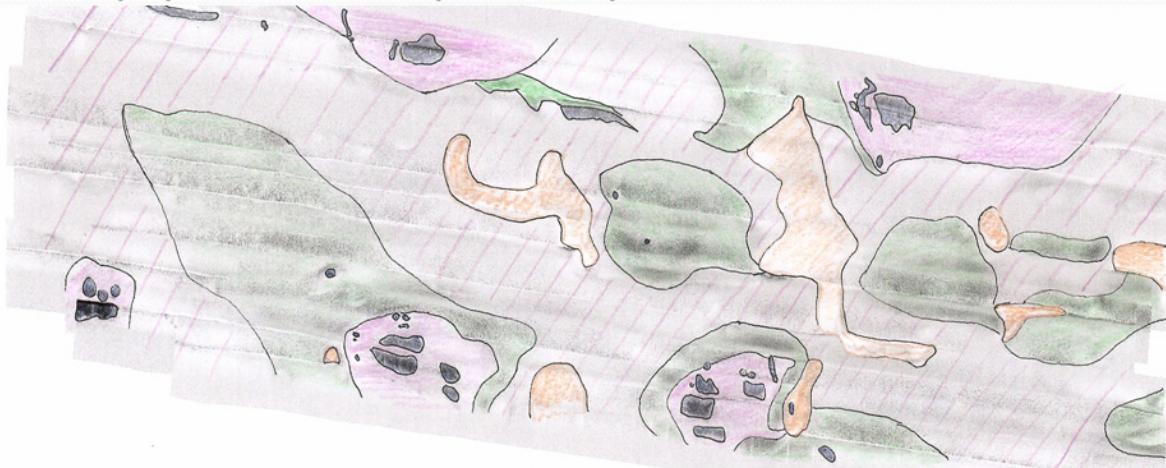


## Морфологическая схема губы Ругозерская



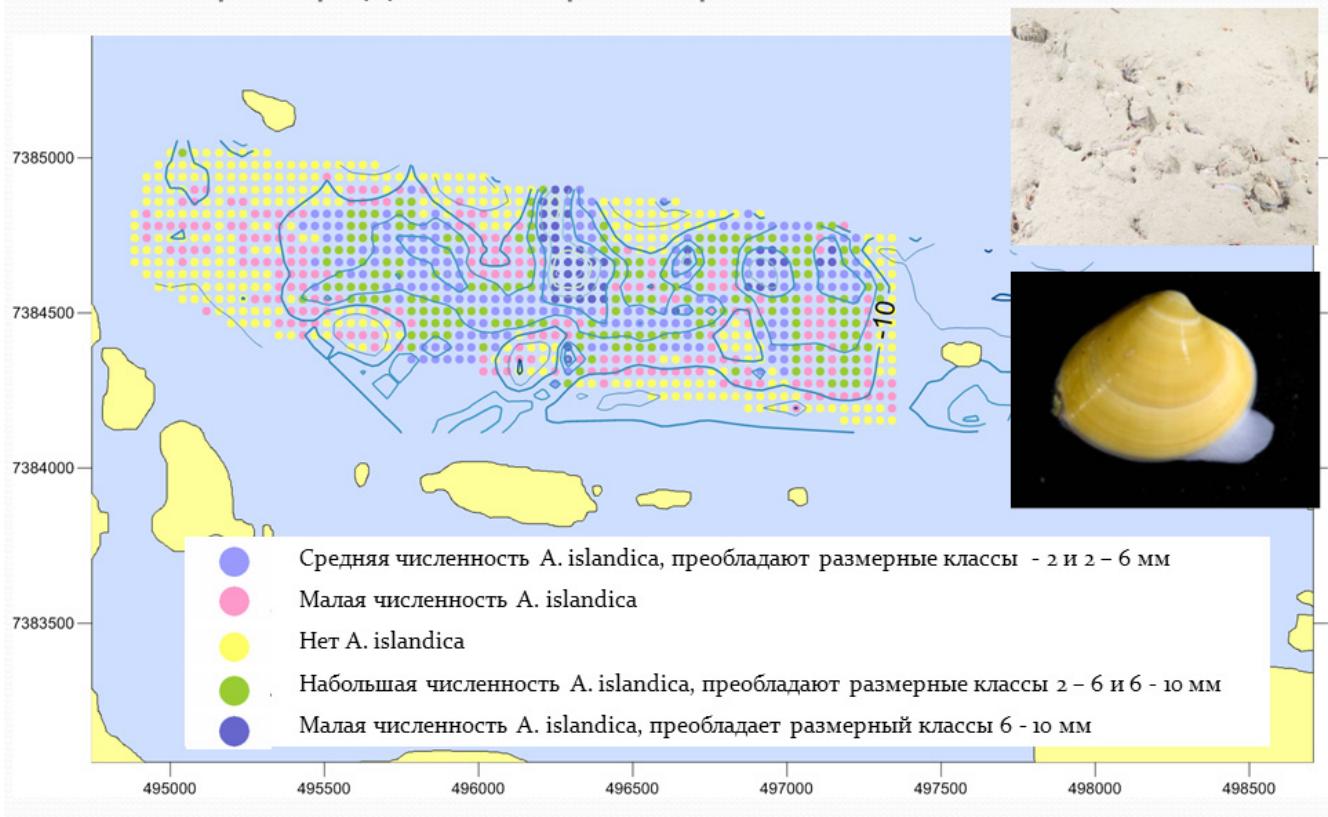
Сейсмоакустический разрез по профилю 51.

## Литологическая схема губы Ругозерская, наложенная на карту величин обратного рассеяния.



- Залиенные каменистые грубообломочные отложения от гравийно-галечной до валунно-глыбовой размерности;
- Полужидкие илы
- Тонкие илы
- Илы сметанообразной консистенции с примесью сортированного материала (алеврит, песок м.з., с.з.),
- Илы сметанообразной консистенции с примесью плохо сортированного материала (алеврит, песок м.з., с.з.),

## Схема распределения размерных классов *A. islandica*



## **«Излучающая установка для погружных сейсмо-акустических систем».**

Соавторство: Маев Петр Андреевич, студент Геологического факультета МГУ; Шматков Алексей Алексеевич, аспирант Геологического факультета МГУ.

Аннотация: Сейсмоакустические исследования проводятся с целью изучения верхней части геологического разреза. При этом получают информацию о свойствах залегающих пород и геометрию их границ. При проведении исследований используются несколько типов источников сейсмоакустических сигналов. При работе на акваториях наиболее распространенными являются электроискровые и пневматические источники, при работе в скважинах - электроискровые и пьезокерамические.

Результаты проекта могут быть использованы при сейсмоакустических исследованиях в следующих областях:

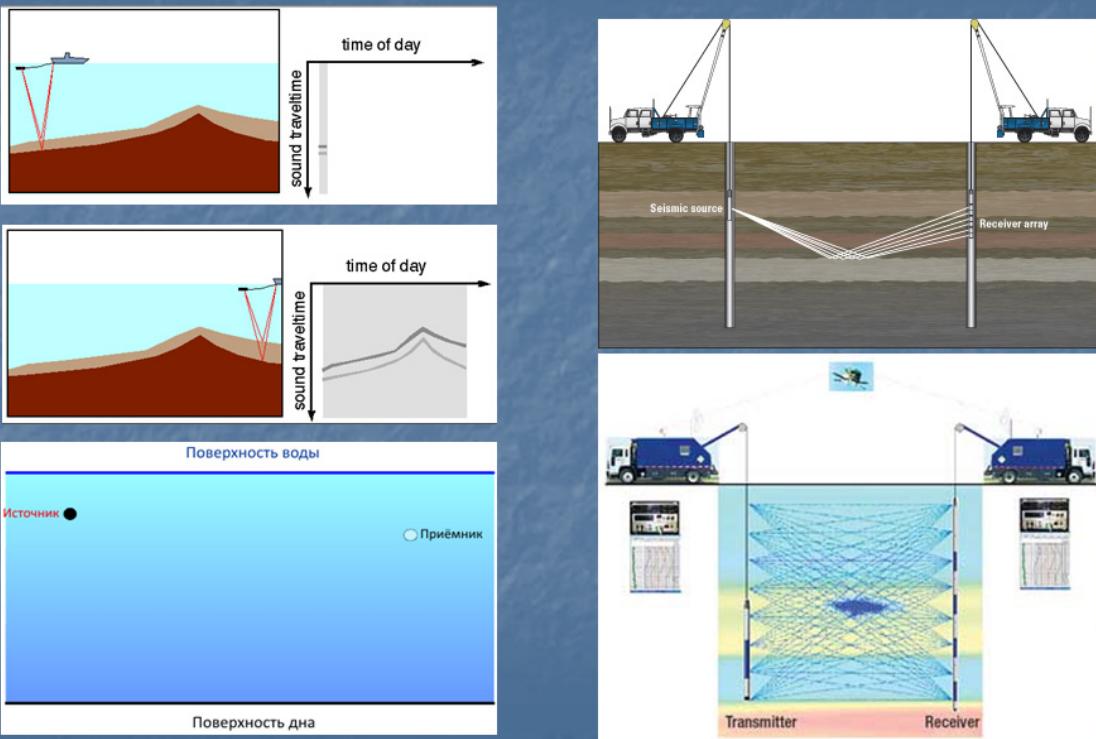
- Изучение верхней части разреза для задач нефтегазовой сейсморазведки
- Скважинные исследования
- Строительство
- Поиск месторождений полезных ископаемых
- Эколого-геологический мониторинг

При этом для каждой задачи требуются различные источники с различными параметрами. На данный момент используются источники с высоковольтными комплексами, расположенными на борту судна. Такая система обладает рядом недостатков, которых возможно избежать при использовании заглубленной установки с трансформатором и накопителем, расположенными непосредственно в ней.

Конкурентные технологии:

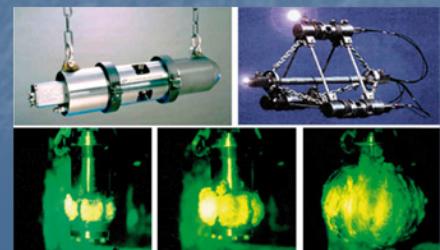
При использовании разработки можно повысить производительность сейсмической партии, так как судно работает даже при неспокойном море, когда работать с приповерхностным источником уже невозможно. Для буксирования такой установки достаточно малого судна. Не тратится энергия на этапе перехода Накопитель – Источник.

# Сейсмоакустические исследования



## Источники, используемые в настоящее время

- Морские исследования
  - Электроискровые
  - Электродинамические
  - Пневматические
  - Пьезокерамические
- Скважинные исследования
  - Электроискровые
  - Пьезокерамические



## Существующие проблемы

- Накопитель и преобразователь энергии находится на борту судна или на поверхности земли
  - Большие потери энергии при передачи энергии от накопителя к излучателю
  - Высокая опасность при проведении работ

## Предлагаемое решение

- Погружной источник сейсмоакустических сигналов с накопителем, преобразователем энергии и излучателем в одном корпусе

## Преимущества предлагаемой технологии

- Уменьшение помех
- Улучшение качества и стабильности излучаемого сигнала
- Расширение возможностей при регистрации сигналов и последующей обработке
- Возможность использования с любыми приемными системами (буксируемые косы, донные станции и т.д.)

# Необходимые исследования

- Разработка компактной схемы преобразователя и накопителя энергии
- Разработка буксируемого аппарата для морских исследований
- Разработка погружного источника для скважинных исследований
- Адаптация излучателей для работы при больших давлениях

## Опыт работ

- Участие в работах высокоразрешающей сейсмоакустикой в условиях Белого моря
- Участие в работах высокоразрешающей сейсмоакустикой в условиях Баренцева моря

# План работ

- Обзор технических решений для возбуждения сейсмоакустических сигналов
- Анализ влияния давления на форму и амплитуду сигнала
- Определение функциональных характеристик буксируемого аппарата
- Определение функциональных характеристик источника для скважинных исследований
- Разработка компактной схемы преобразователя и накопителя энергии
- Адаптация излучателя для работы при большом давлении

## Раздел 3 «Моделирование углеводородных бассейнов»

По тематике «Моделирование углеводородных бассейнов» в рамках конкурса «Инновационные проекты ВУЗов для нефтегазовой отрасли» был представлен следующий материал:

**1 доклад:** Ахманов Григорий Георгиевич, к.г.-м.н., доцент Геологического факультета МГУ, Иванов Михаил Константинович, д. г.-м. н., проф., МГУ; Токарев Михаил Юрьевич, старший преподаватель Геологического факультета МГУ. «Углеводородные ресурсы морских акваторий и Арктического региона Российской Федерации. Отчет о 18-м рейсе ТТР»

### 1 лекция

#### «Происхождение углеводородов».

Соавторство: Полудеткина Елена Николаевна, к. г.-м. н., с.н.с. Геологического факультета МГУ; Корост Дмитрий Вячеславович, н.с. Геологического факультета МГУ; Норина Дарья, аспирант Геологического факультета МГУ.

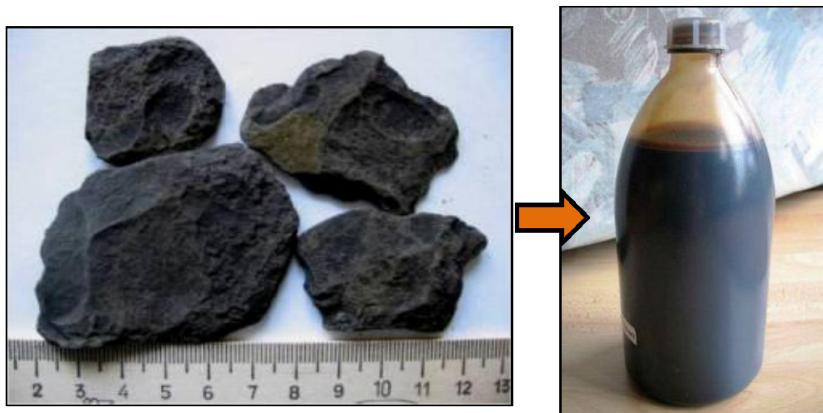


Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Геологический факультет  
Кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых



## Происхождение углеводородов

Норина Дарья, аспирант геолог. ф-та МГУ, daria.norina@gmail.com



Москва, 2011

# УГЛЕВОДОРОДЫ

## Жидкие

- Нефть
- Газоконденсат



## Газообразные

- УВ газы



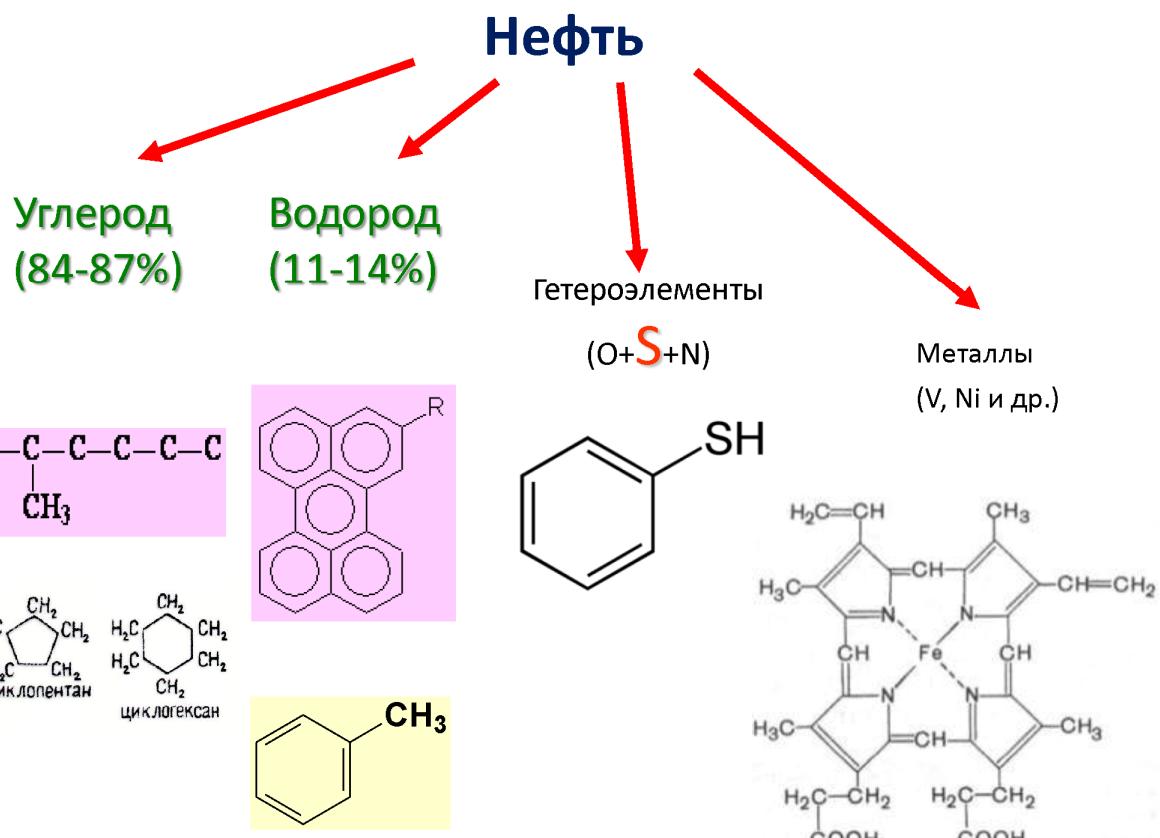
## Твердые

- Уголь
- Газовые гидраты
- Продукты природного преобразования нефти



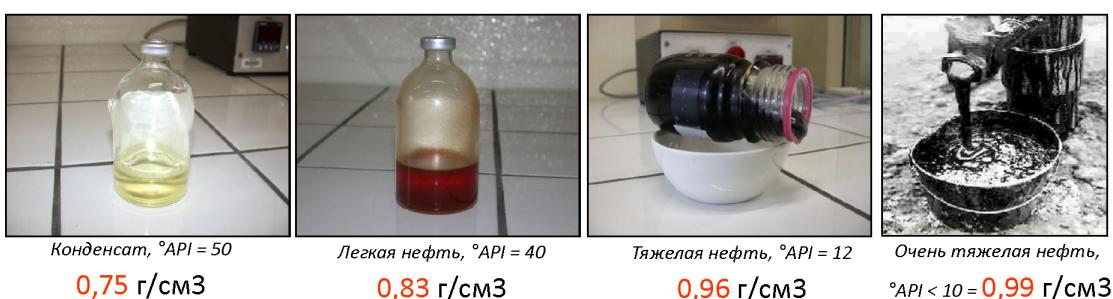
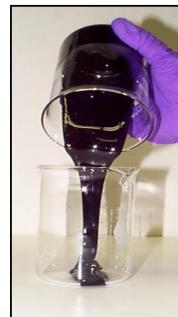
## Нефть и природный газ





## Свойства нефти

- Цвет – от прозрачного, бесцветного до черного
- Консистенция – от текучей до очень вязкой
- Плотность природных нефтей - от **0,78** до **0,99** г/см<sup>3</sup>



Нефть качества «Brent» - плотность 0,871 г/см<sup>3</sup>

содержание серы не более 0,1-0,2%.

Источник: Ed Turek and Baseline

# Фракционный состав нефти

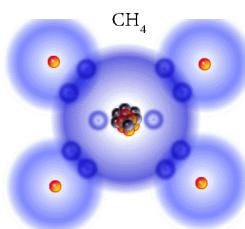


## Углеводородные газы

Состав:

- Углеводороды:
  - $CH_4$  ( $C_1$ , метан)
  - $C_2H_6$  ( $C_2$ , этан)
  - $C_3H_8$  ( $C_3$ , пропан)
  - $C_4H_{10}$  ( $i-C_4$ ,  $n-C_4$ , бутаны)
  - $C_5H_{12}$  ( $i-C_5$ ,  $n-C_5$ , пентаны)
- Неуглеводородные соединения:
  - $CO_2$  – как правило, в небольших количествах
  - $H_2S$  – локально
  - инертные газы ( $He$ ,  $Ar$  и т.п.) – изредка

Молекула метана



# Живые организмы – источники углеводородов

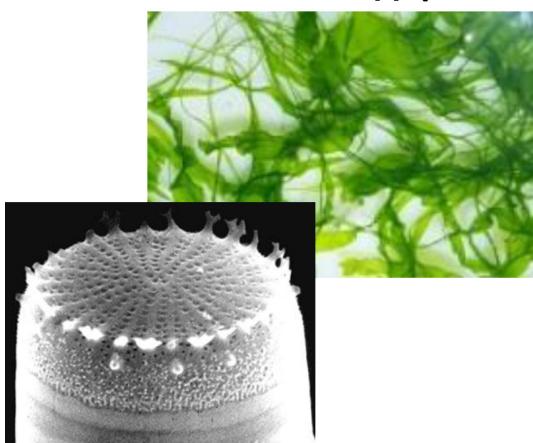
Бактерии



Зоопланктон



Фитопланктон + водоросли



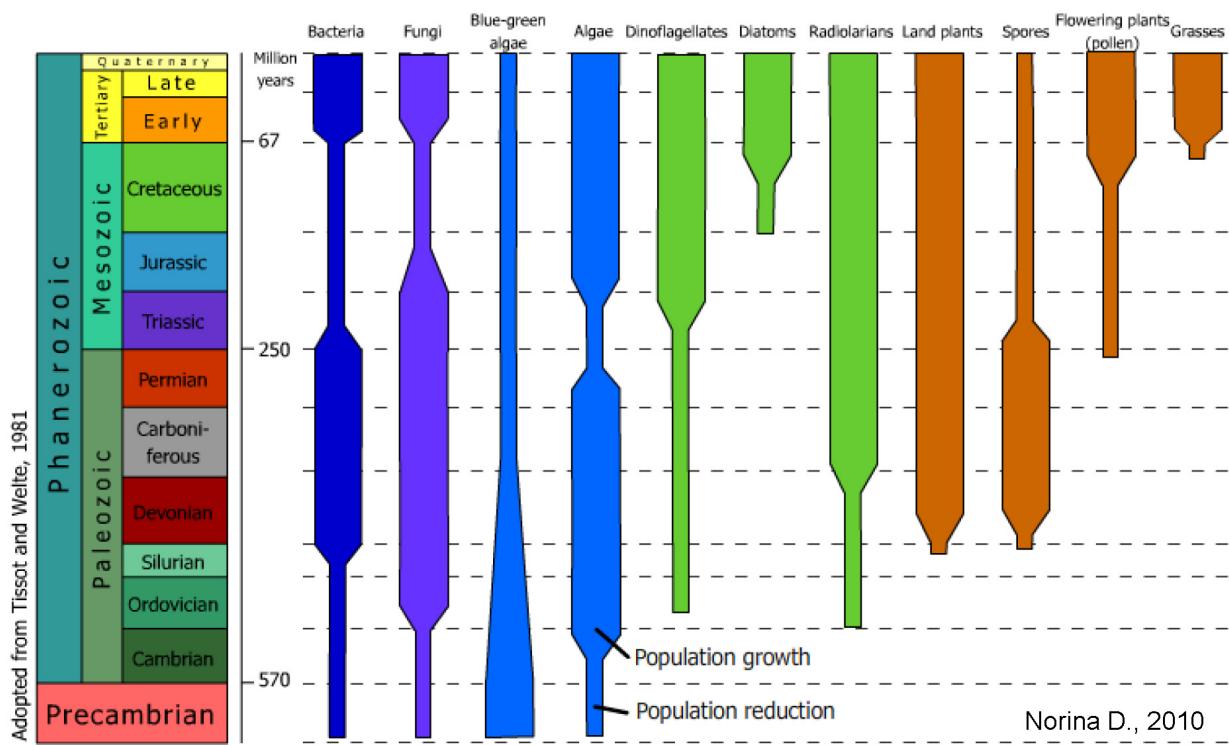
99%

Высшая растительность

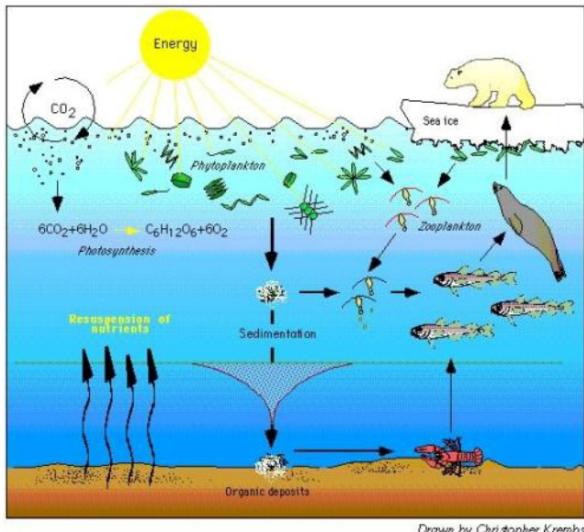


Споры,  
пыльца

## Эволюция живых организмов



## Осадок, обогащенный органическим веществом



Дельты рек

Norina D., 2010

Озера



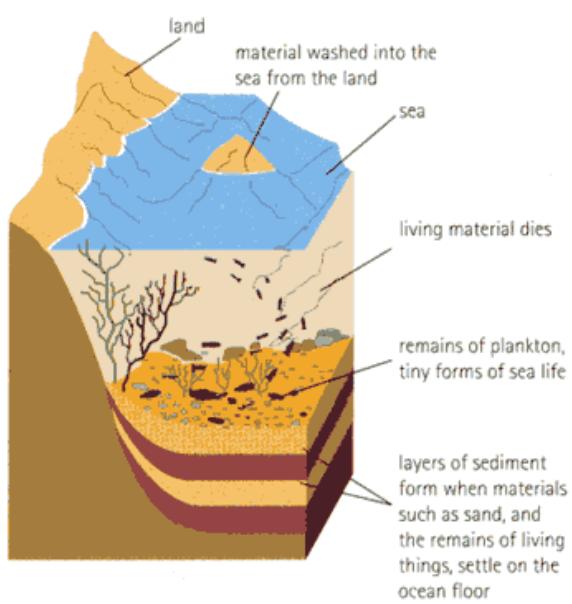
Лагуны



Болота

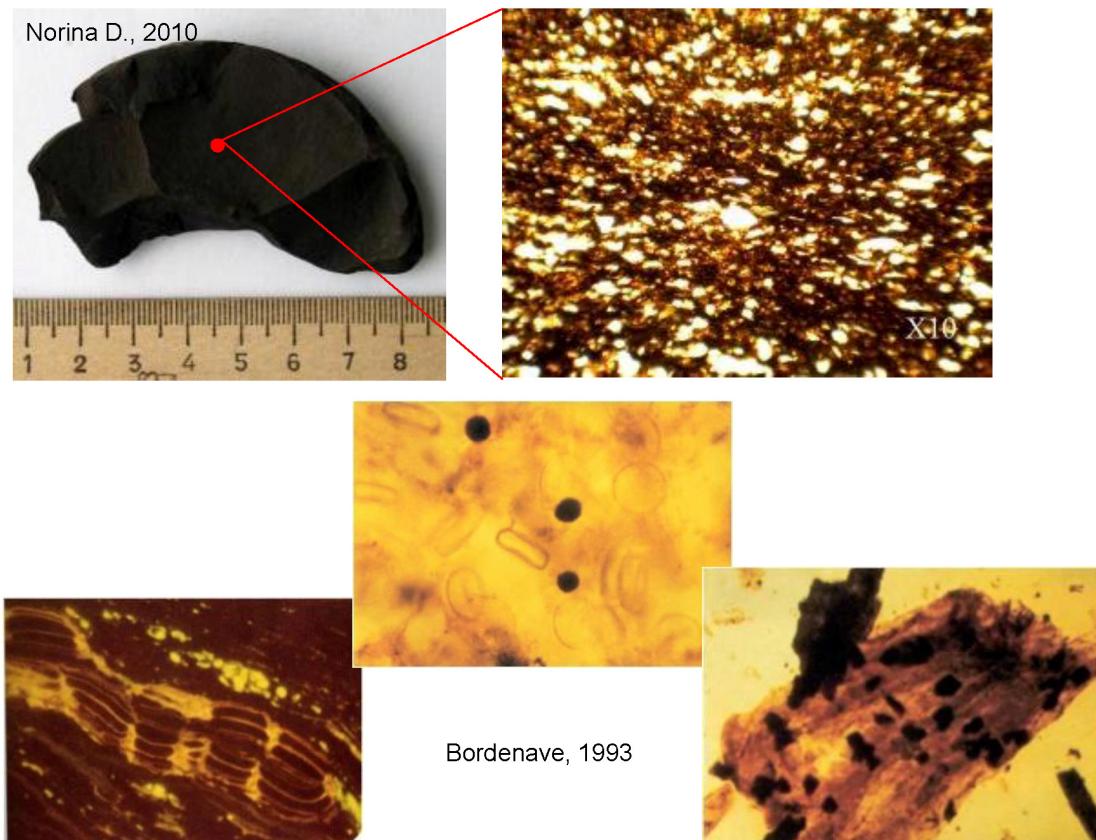


## Образование нефтематеринской породы



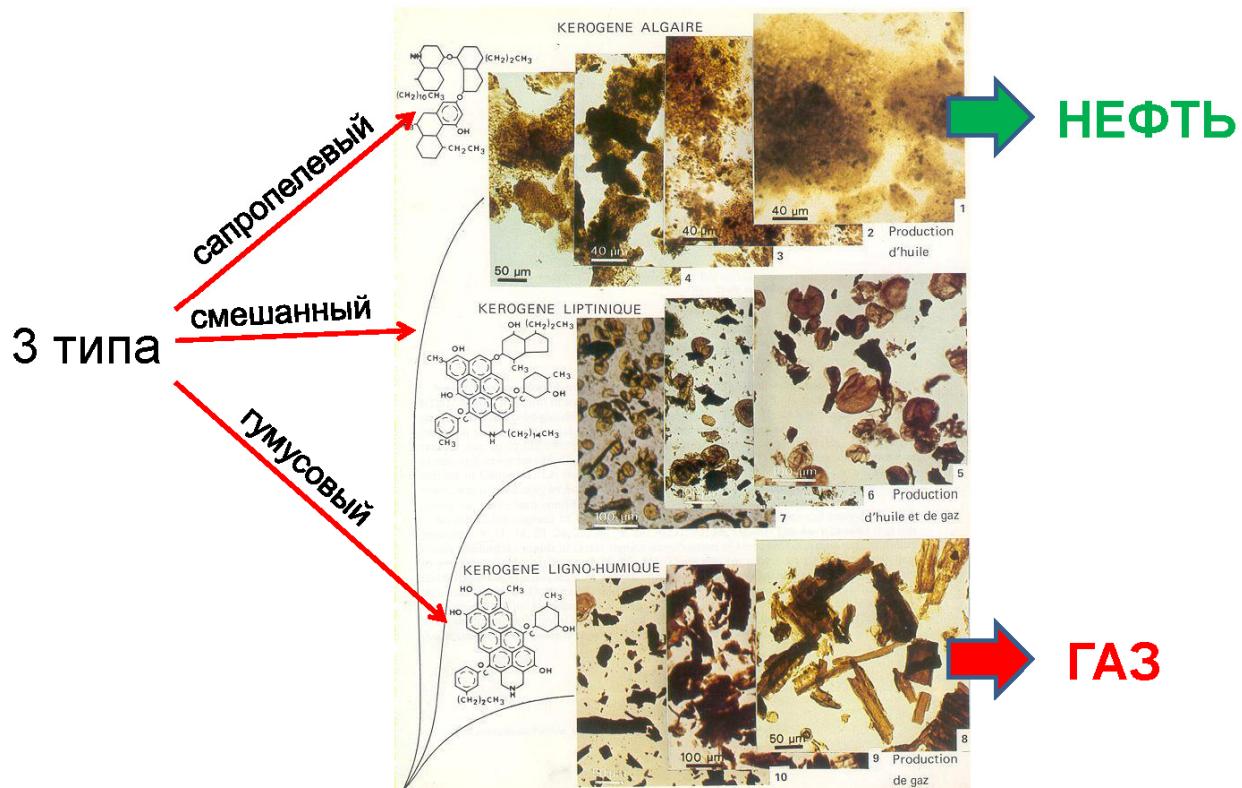
**Нефтегазоматеринские породы (НГМП) – это породы, обогащенные ОВ, способные генерировать и отдавать нефть и газ.**

# Нефтематеринская порода: макро и микро



## Кероген – ОВ породы

**Кероген** – органическое вещество, нерастворимое в органических растворителях. Переходная форма от живого вещества к углеводородам



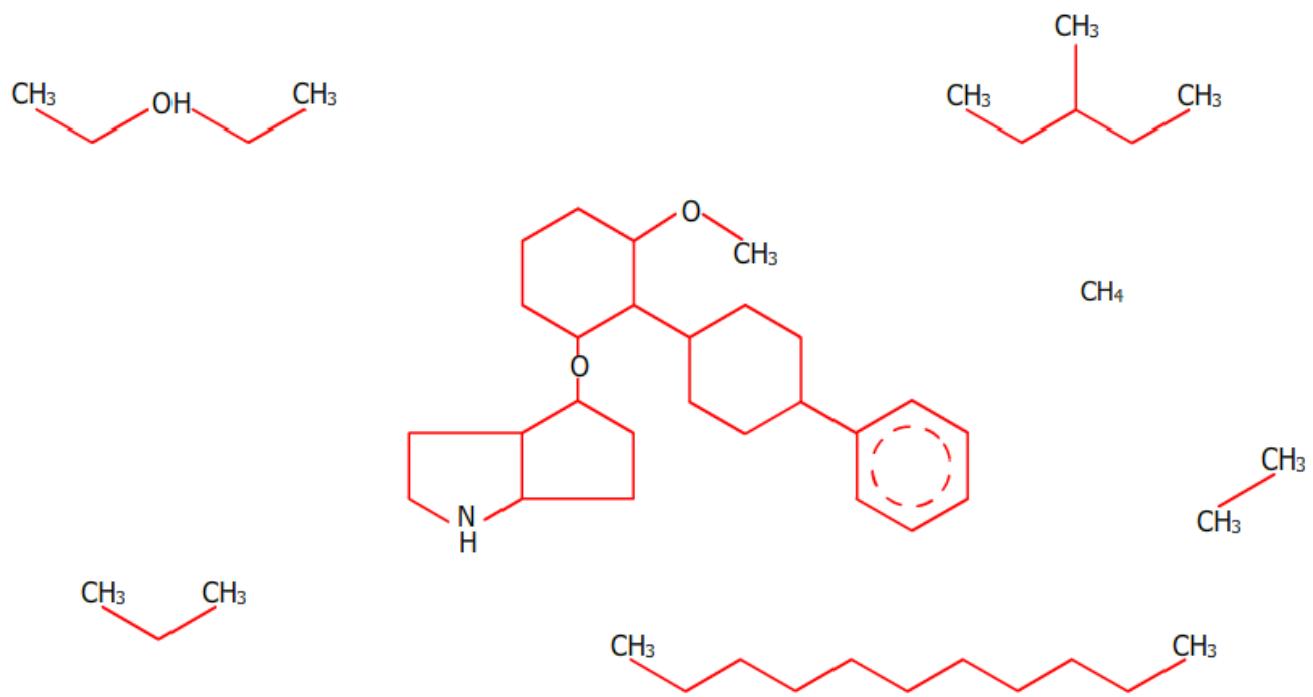
## Содержание ОВ в породах

100 %	
90,0	
80,0	
70,0	Горючие сланцы, угли
50,0	
25,0	
10,0	
9,0	НМ породы
7,0	«мирового класса»
5,0	
3,0	
1,0	НМ породы
0,9	Обогащенные ОВ
0,5	
0,3	Не НМ породы
0,1	
< 0,1	Рассеянное ОВ



Средние  
содержания

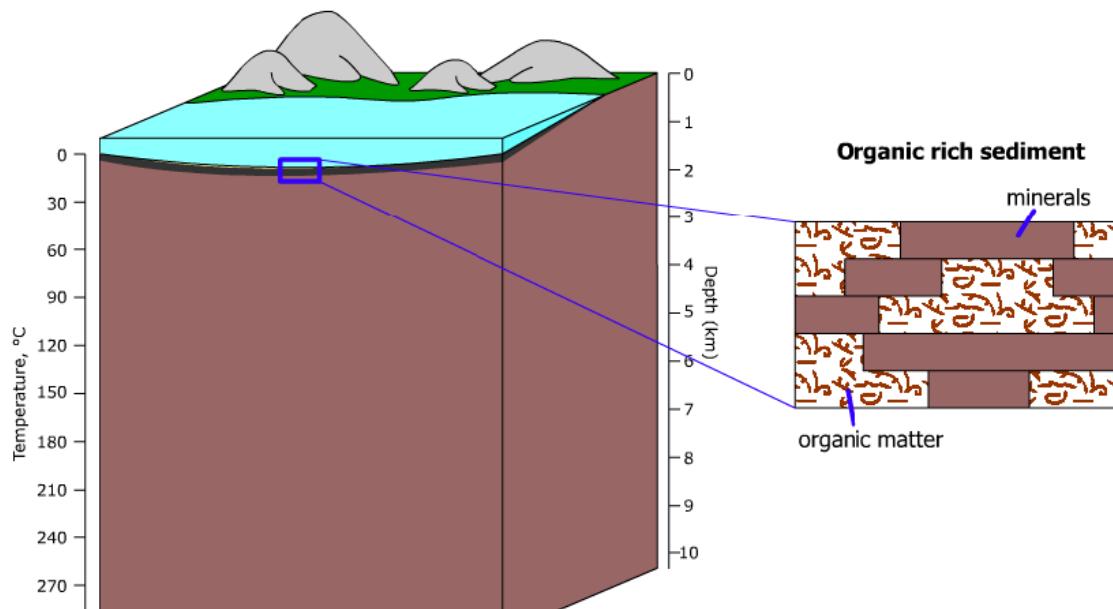
## Образование УВ из керогена



Norina D., 2010

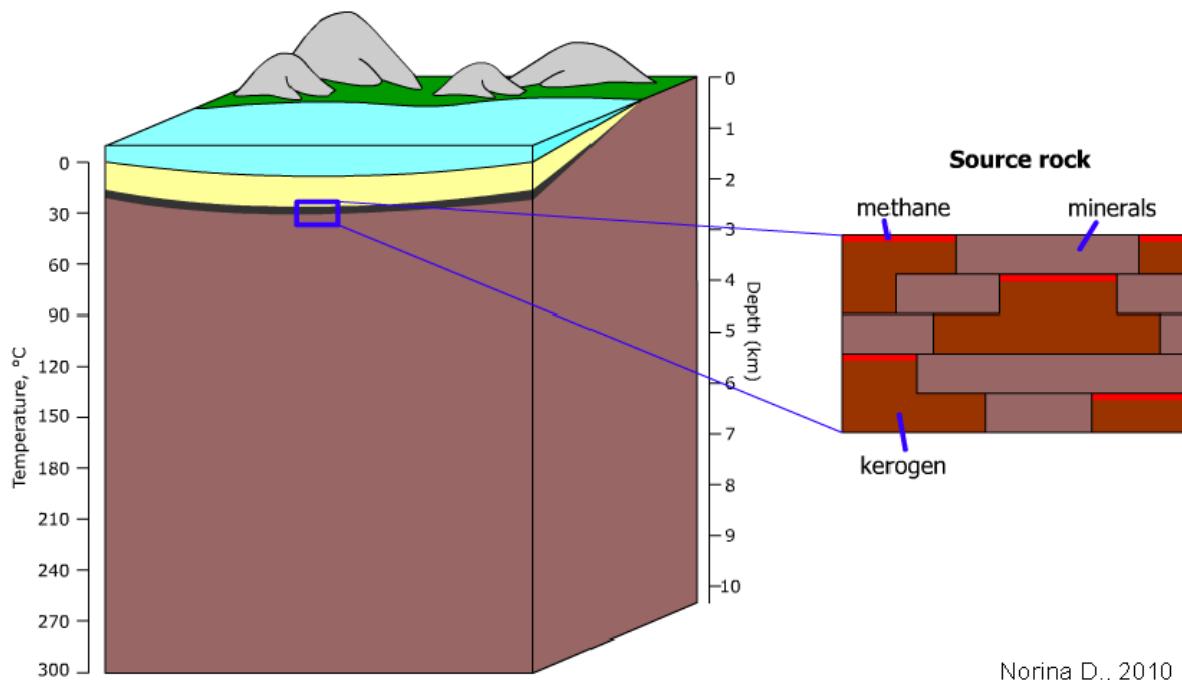
При нагреве керогена происходит отрыв углеводородных цепочек

## Образование осадка, обогащенного ОВ



Norina D., 2010

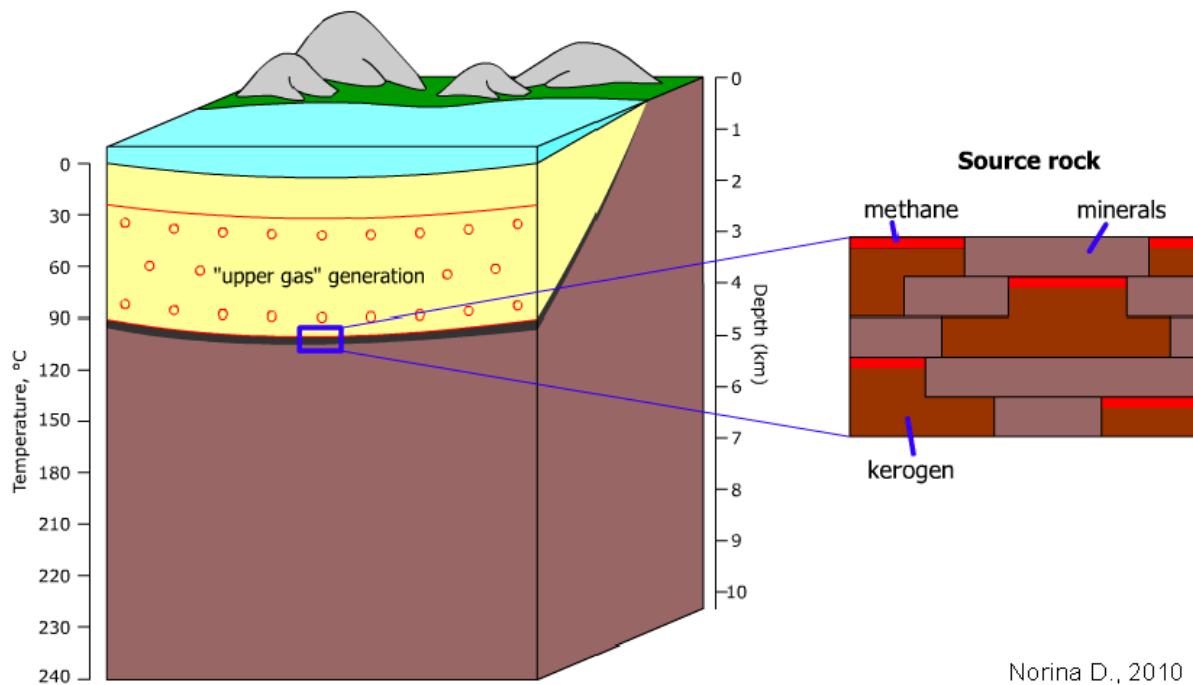
## Образование нефтематеринской породы



Norina D., 2010

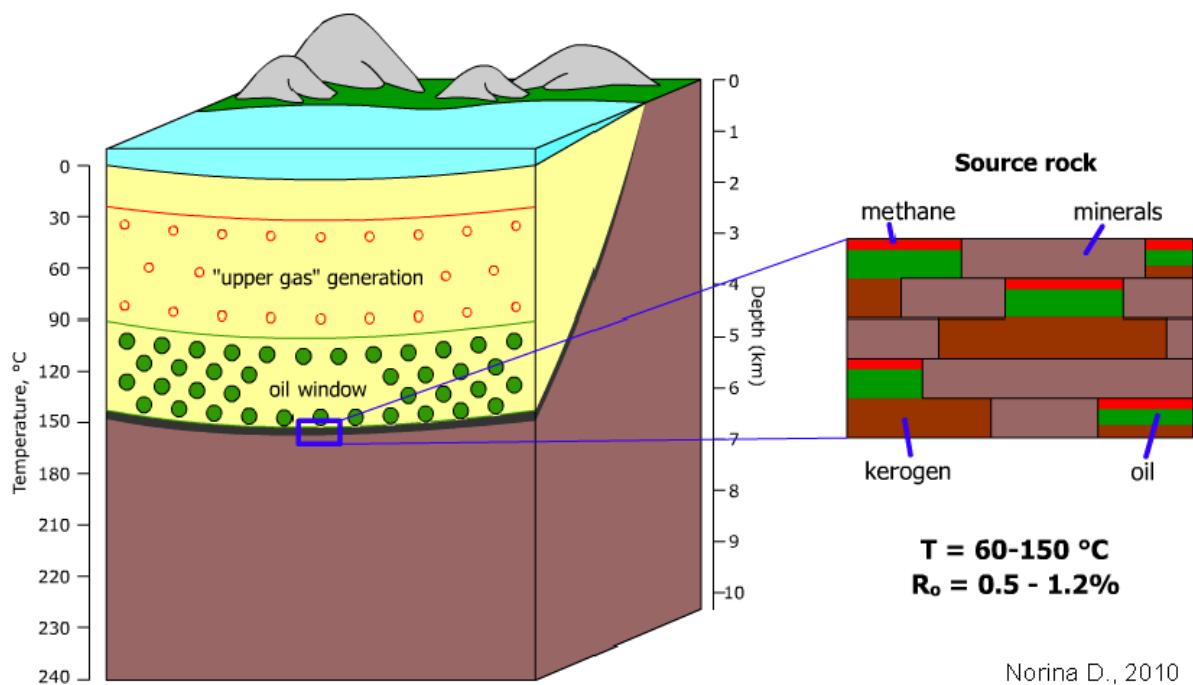
Образование метана в результате разложения живых организмов

# Верхняя зона газообразования



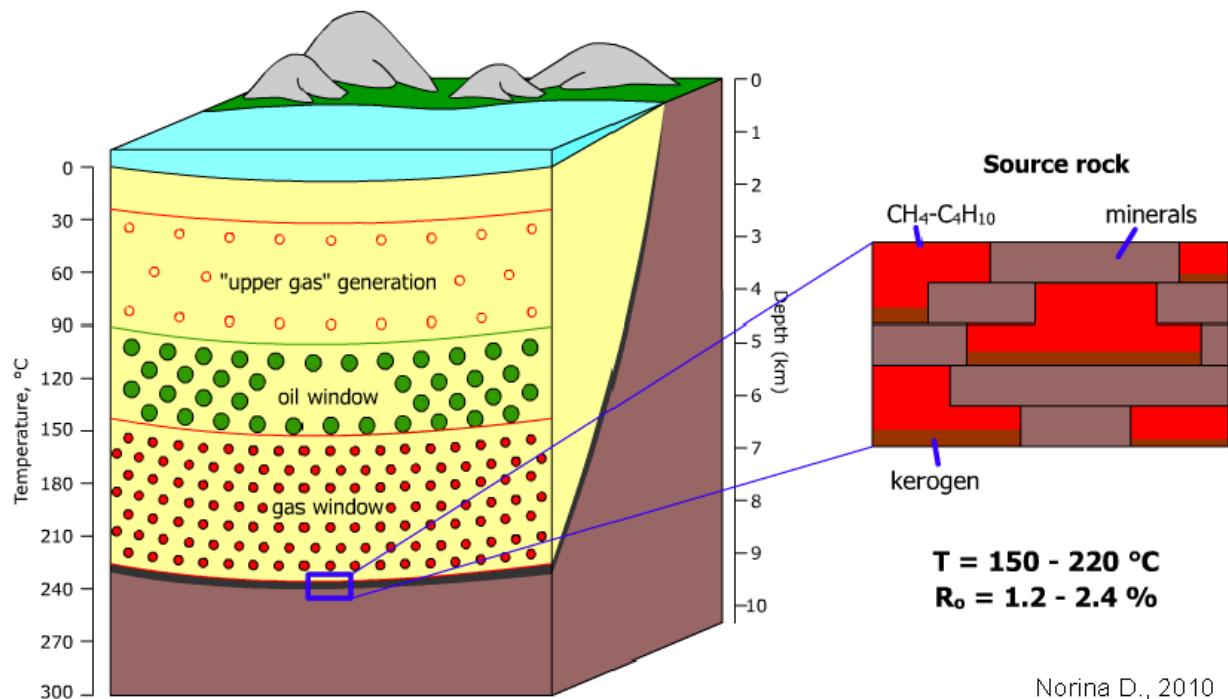
Образование метана до  $T=90$  °C

## “Нефтяное окно”



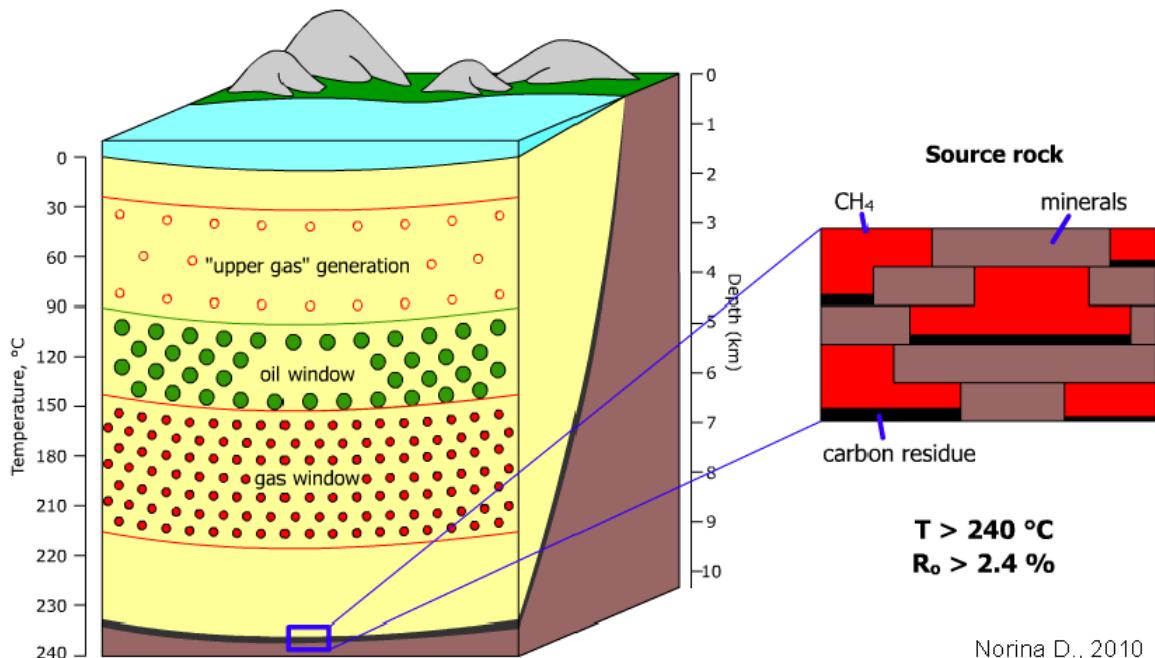
Главная фаза образования жидкых УВ - нефти

## “Газовое окно”



Главная фаза образования углеводородных газов

## Конец генерации углеводородов

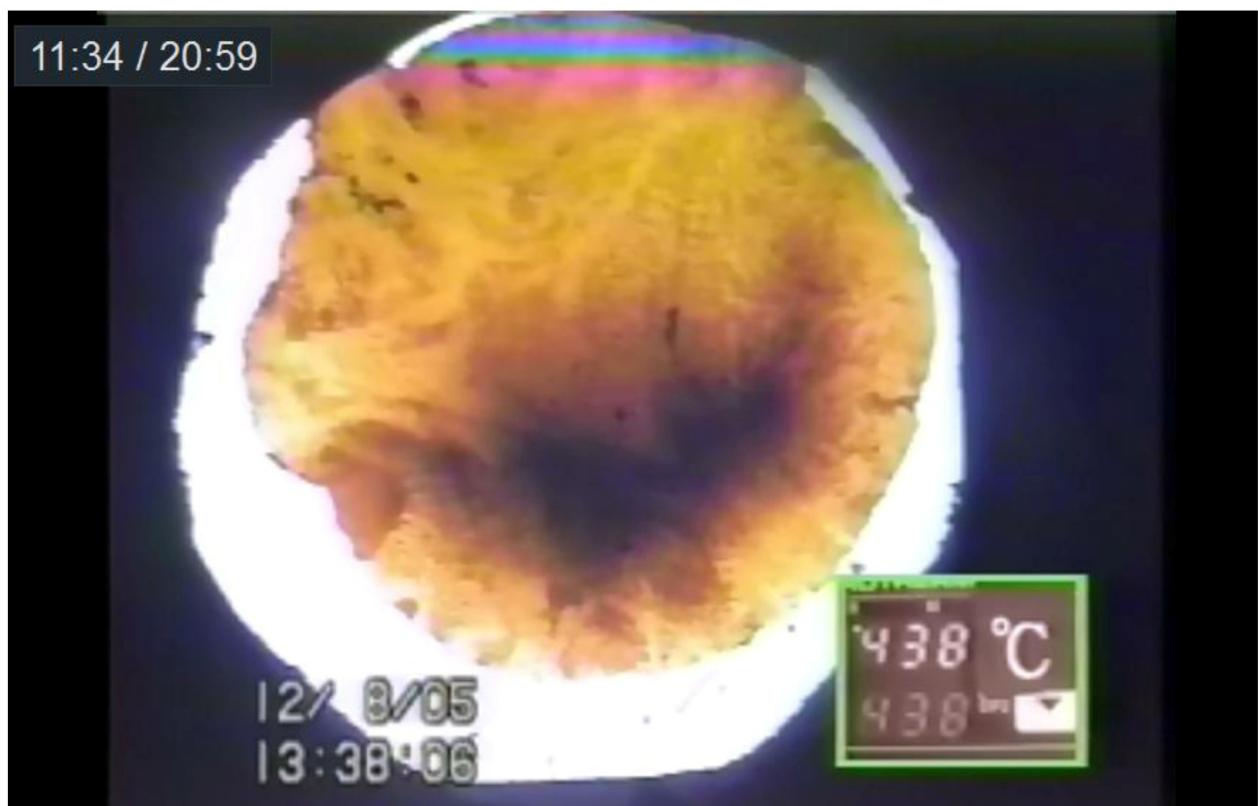


Из остатков керогена образуется графит

## Созревание нефтематеринской породы



## Образование углеводородов – в лаборатории!!



## Что происходит в породе при образовании УВ

- Уменьшение объема пор при уплотнении
- Температурное расширение (вода – жидкое УВ – газы)
- Увеличение объема УВ относительно исходного ОВ
  - Появления новых порций воды



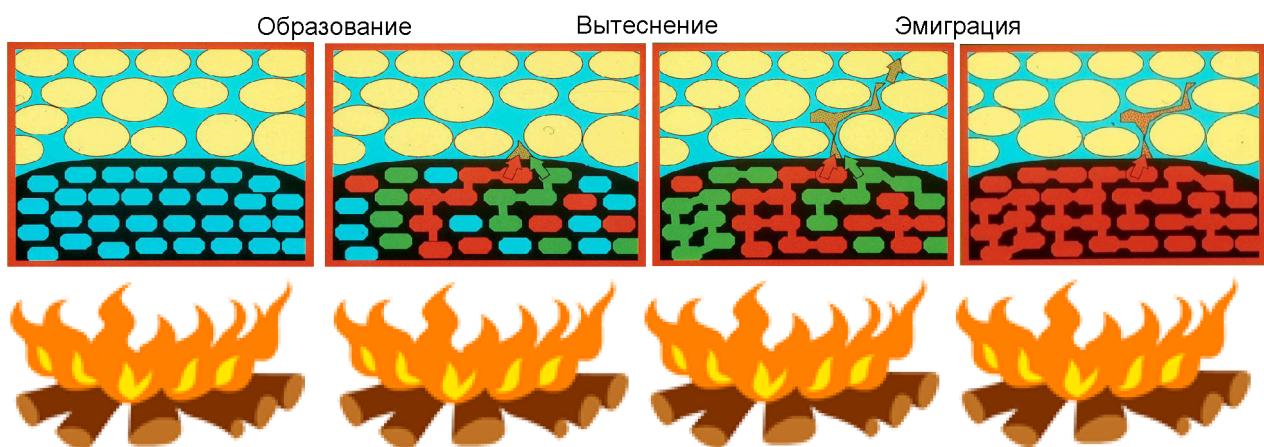
**Увеличение внутриворового давления, разрыв и образование микротрещин**



Микротрещины в глинистой нефтематеринской породе

## Эмиграция УВ из нефтематеринской породы

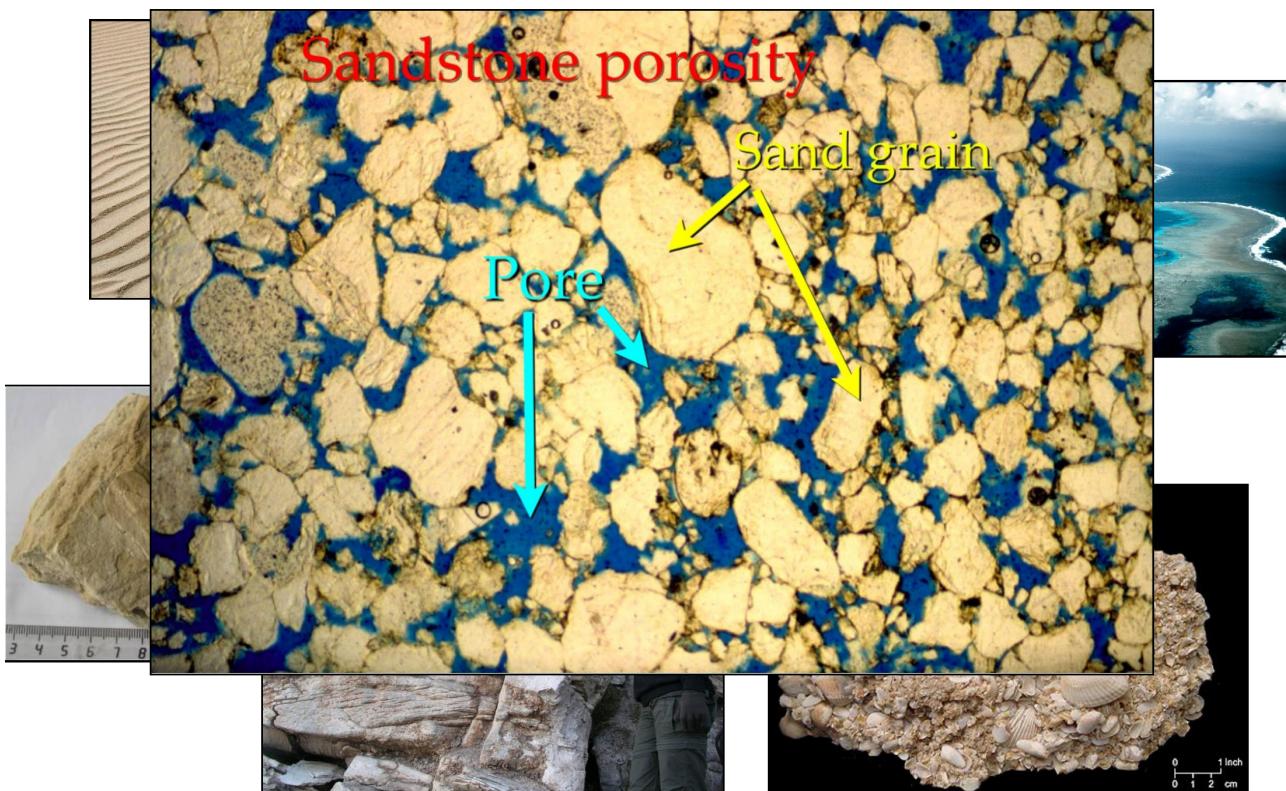
**Эмиграция** – перемещение углеводородов из нефтематеринской породы в окружающую матрицу



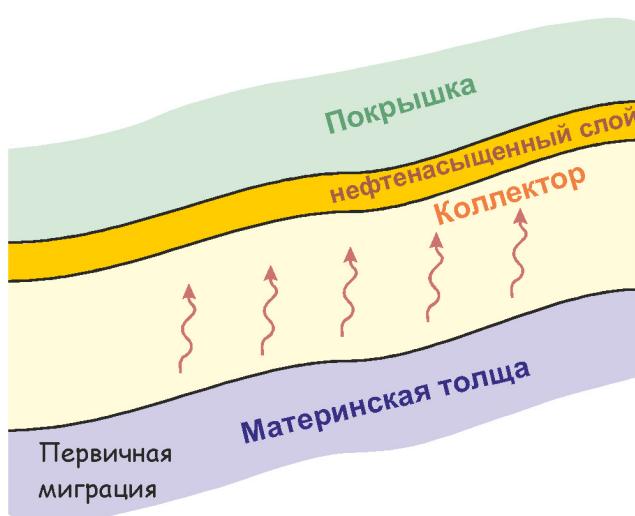
# Коллекторы нефти и газа

Терригенные - песчаники

Карбонатные - рифы



## Флюидоупор - покрышка



## Соли



## Глины

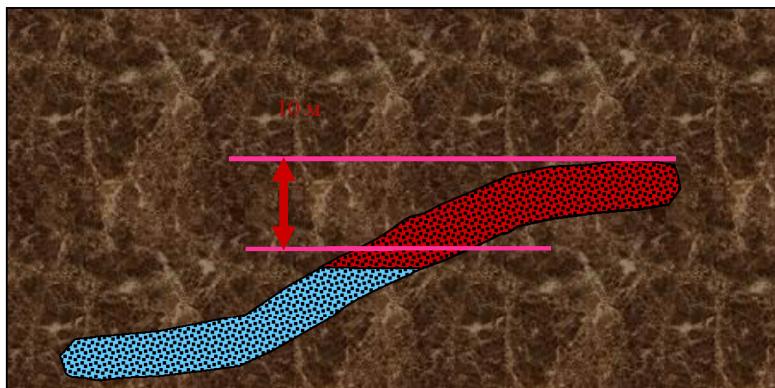


- Плохопроницаемые породы
- Предотвращает миграцию УВ к поверхности
- Важны мощность и пластичность

# Вторичная миграция

Перемещение или миграция по коллектору до ловушки –  
**вторичная миграция**

Сила всплытия (Архимедова сила)



$$\Delta p = (\rho_B - \rho_{UW}) \times g \times h$$

Где

$\Delta p$  = давление выталкивания

$\rho_B$  = плотность воды

$\rho_{UW}$  = плотность УВ

$h$  = высота над контактом

$G$  – ускорение свободного падения

Давление всплытия – избыточное давление, которое создается в замкнутом пласте под воздействием разницы в плотности между углеводородами и водой

## Ловушка

- Экран или барьер на пути движения углеводородов
  - Вытеснение углеводородами воды из пор

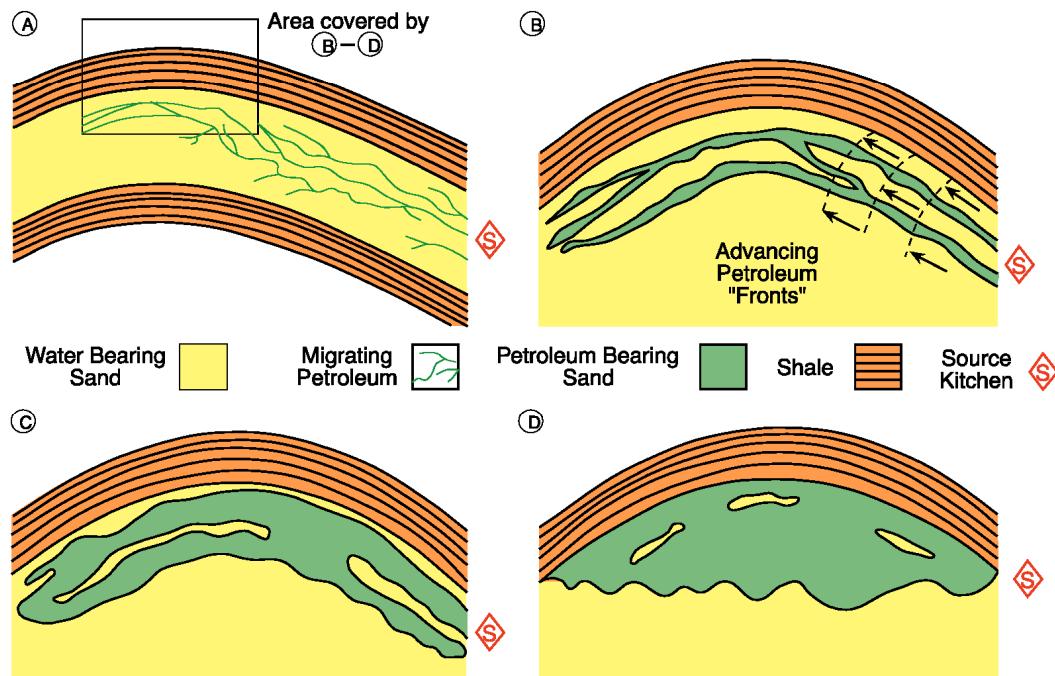
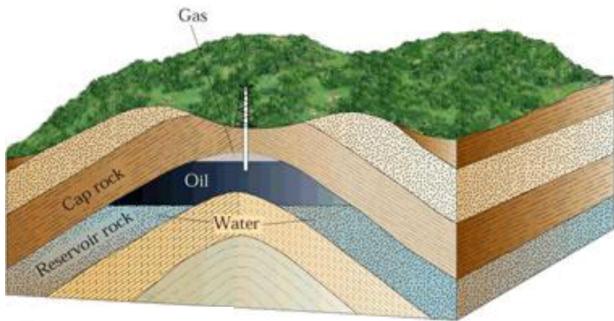
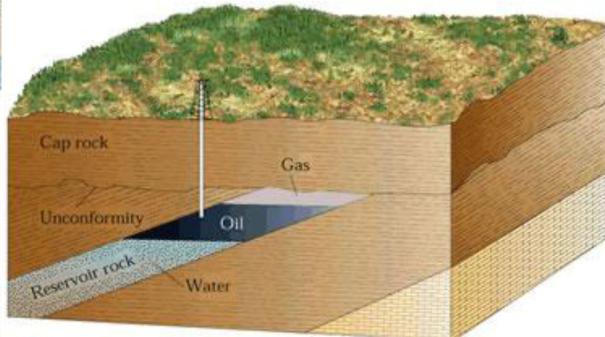


Схема заполнения нефтью антиклинальной ловушки

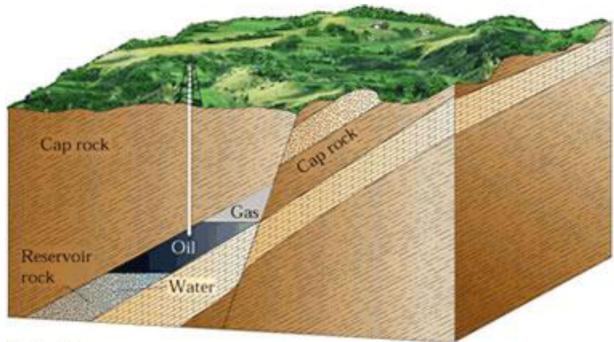
## Типы ловушек



Антиклиналь



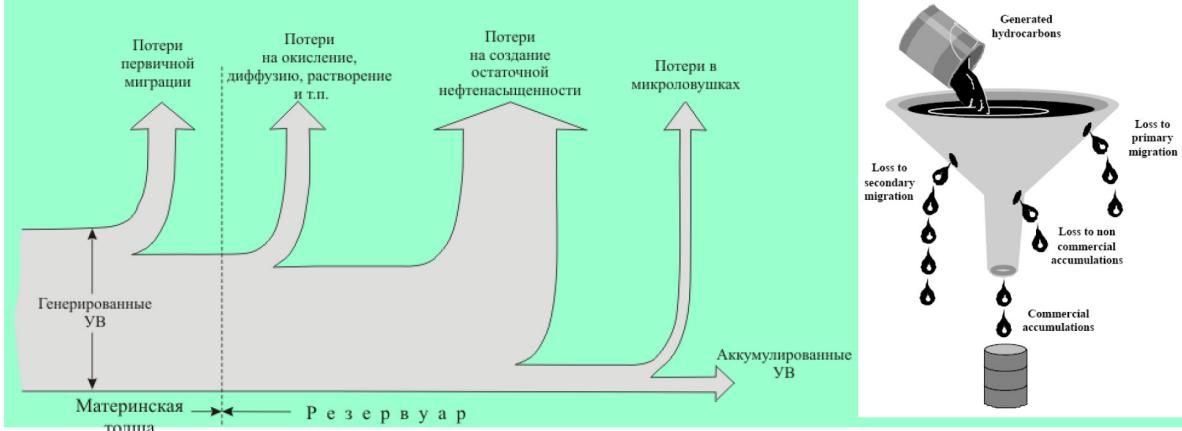
Стратиграфическая ловушка



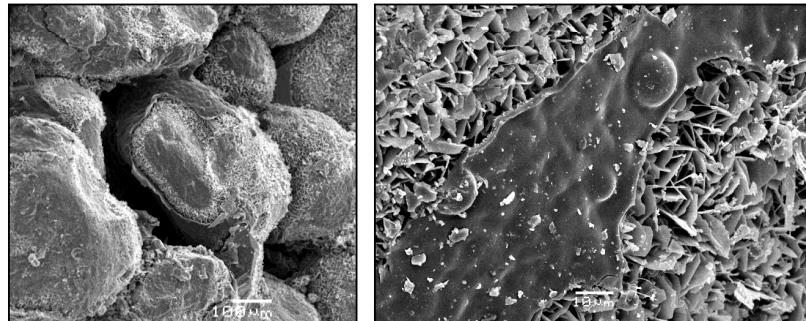
Ловушка, приуроченная к разлому

## Миграционные потери

- Часть УВ неизбежно теряется на миграционных путях



Сорбция  
углеводородов  
минералами

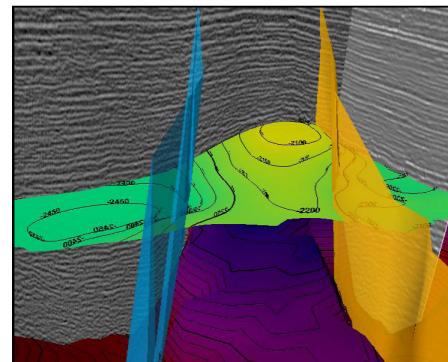


# Поиск месторождений нефти и газа

Цель – определить сколько, где и каких углеводородов можно найти

Нужно оценить:

1. Нефтематеринская порода – количество и тип ОВ, зрелость, момент начала генерации УВ
2. Коллектор и покрышка – наличие и свойства (проницаемость, пористость, мощность)
3. Ловушка – тип, размер, замкнутость и герметичность, время формирования
4. Миграция – когда?

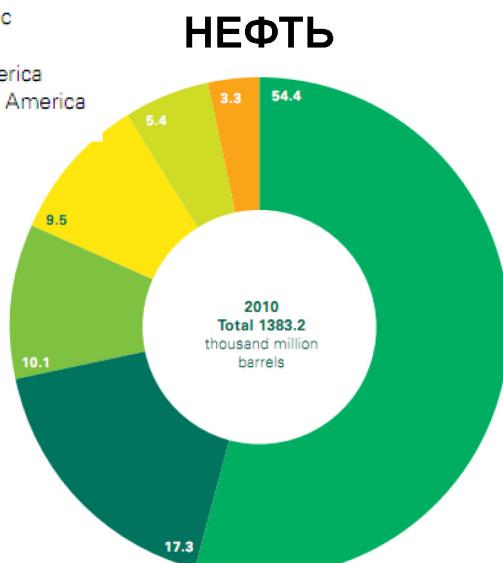


Данные:

- Скважины и исследования в них
- Обнажения пород
- Сейсморазведка
- Грави- и магниторазведка

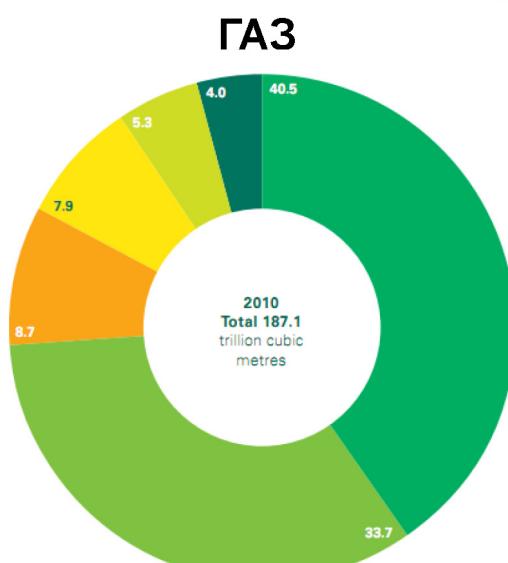
## Мировые разведанные ресурсы УВ

Middle East  
Europe & Eurasia  
Asia Pacific  
Africa  
North America  
S. & Cent. America



2010 г  
~200 млрд. т

Россия – 10.8 млрд т



2010 г  
~187 трлн м<sup>3</sup>

Россия – 45 трлн м<sup>3</sup>

Оценка BP, 2011

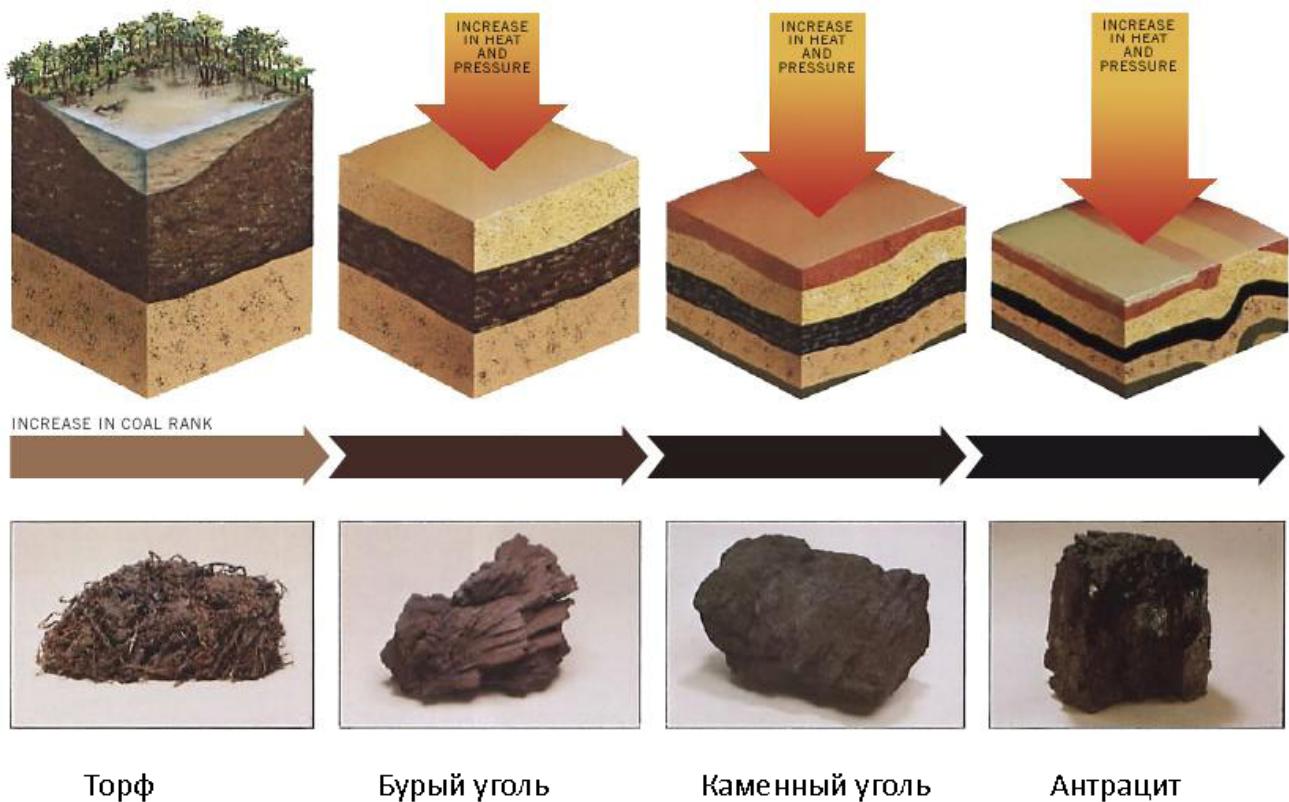
## Размеры открываемых месторождений

Размер месторождений	Запасы нефти, млн. т	Запасы газа млрд. м <sup>3</sup>
Мелкие	< 10	< 10
Средние	10-50	10-50
Крупные	50-100	50-100
Крупнейшие	100-500	100-500
Гигантские	>500	>500



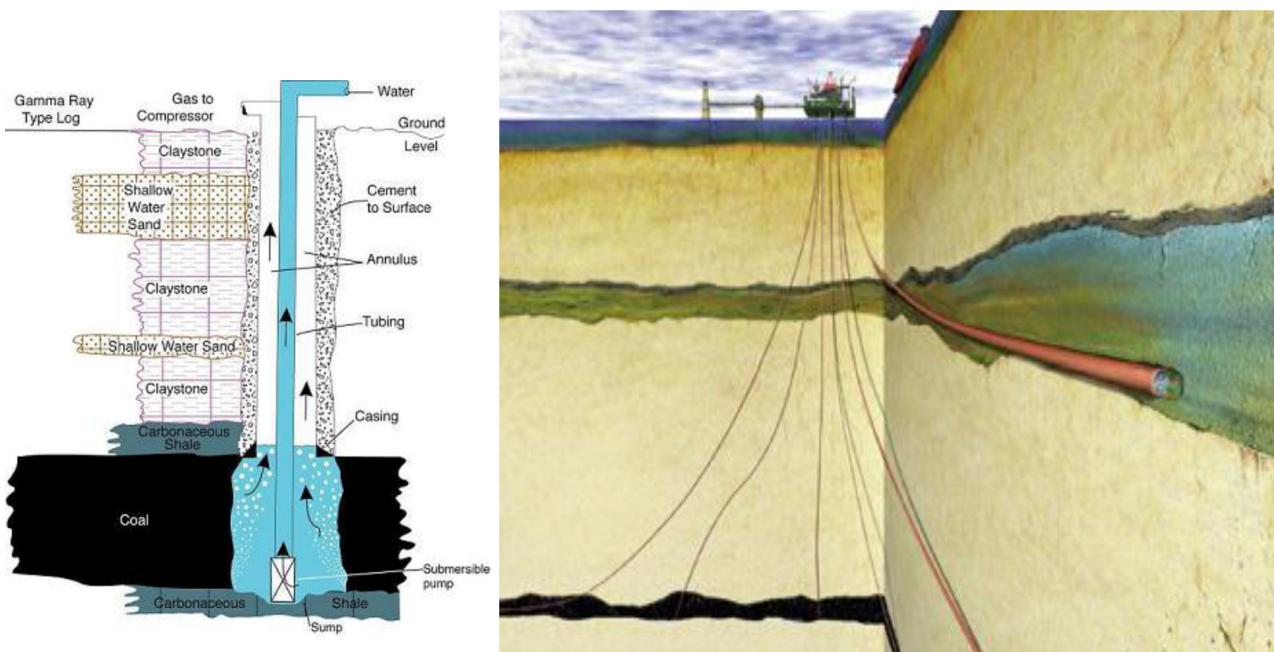
**Уголь**

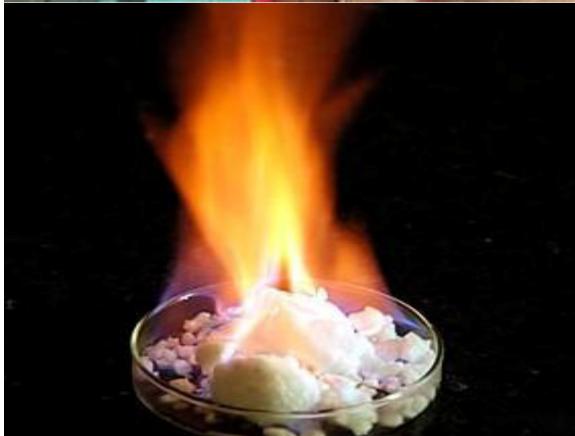
# Шкала углефикации



## Угольный метан

**Метан угольных пластов** содержится в угленосных отложениях. Формируется в результате биохимических и физических процессов в ходе преобразования растительного материала в уголь.





## Газогидраты

### Что такое газогидраты

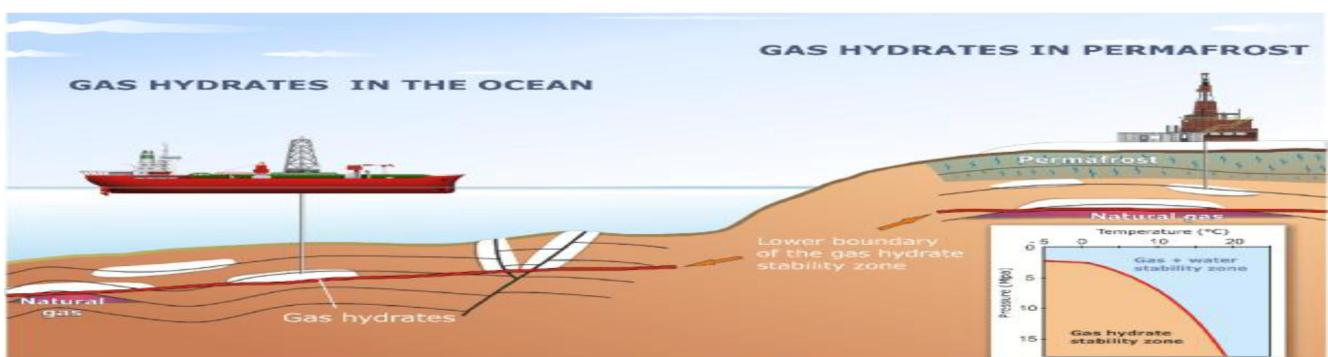
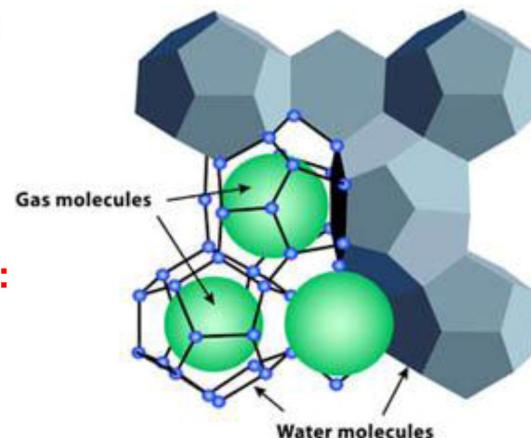
Гидраты природных газов - кристаллические соединения, образующиеся из воды и газа

Гидраты природных газов - CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, изобутан

#### Условия образования газовых гидратов:

- Повышенные давления
- Пониженные температуры
- Наличие потока УВ газов!!!

Условия вечной мерзлоты  
Дно морей и океанов



## Битумы (tar sands)

Образуются, когда месторождение нефти выходит к поверхности и разрушается



Alberta Tar Sands

© Garth Lenz

Алberta (Канада) ~ 240 млрд. т  
Ориноко (Венесуэла) ~ 285 млрд. т



Конкурсный отбор прошла одна работа:

**«Программные решения для седиментационного моделирования».**

Автор: Линёв Дмитрий Николаевич, аспирант Геологического факультета МГУ; Камаева Мария Ивановна, магистрант Геологического факультета МГУ

Геологический факультет МГУ им.М.В. Ломоносова



# Программные решения для седиментационного моделирования

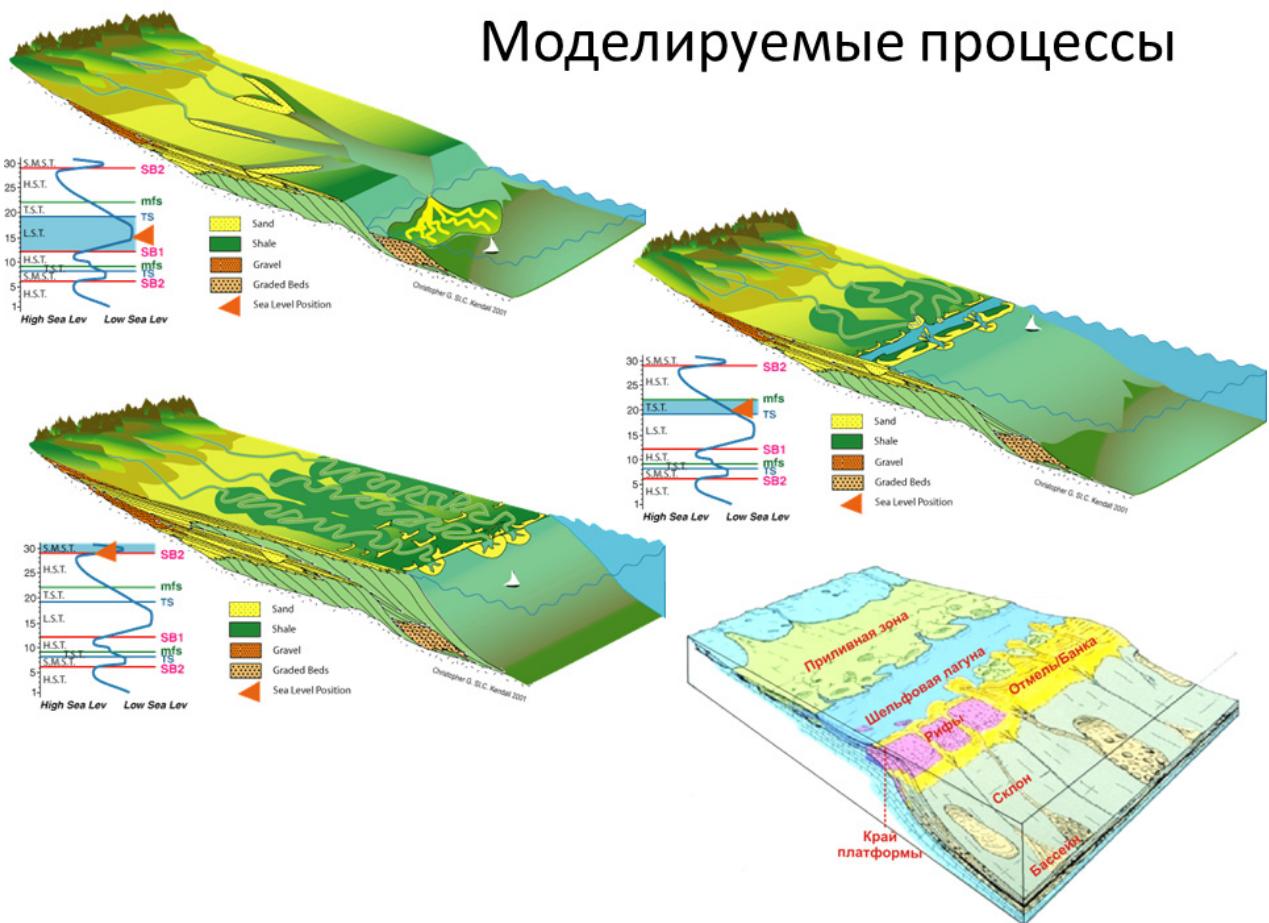
Дмитрий Линев

Мария Камаева

## Практическая значимость

- Предсказание геолого-фациальной модели
- Расчет фильтрационной модели
- Расчет синтетических сейсмических разрезов
- Восстановление условий осадконакопления

## Моделируемые процессы



## Моделируемые процессы

- ✓ Поступление терригенного материала в бассейн и его отложение
- ✓ Отложение шельфовых карбонатов
- ✓ Отложение глубоководных карбонатов
- ✓ Рост рифовых построек
- ✓ Размыв и переотложение ранее накопленных осадков
- ✓ Отклик седиментационной системы на колебания уровня моря

# Постановка задачи

## Входные данные:

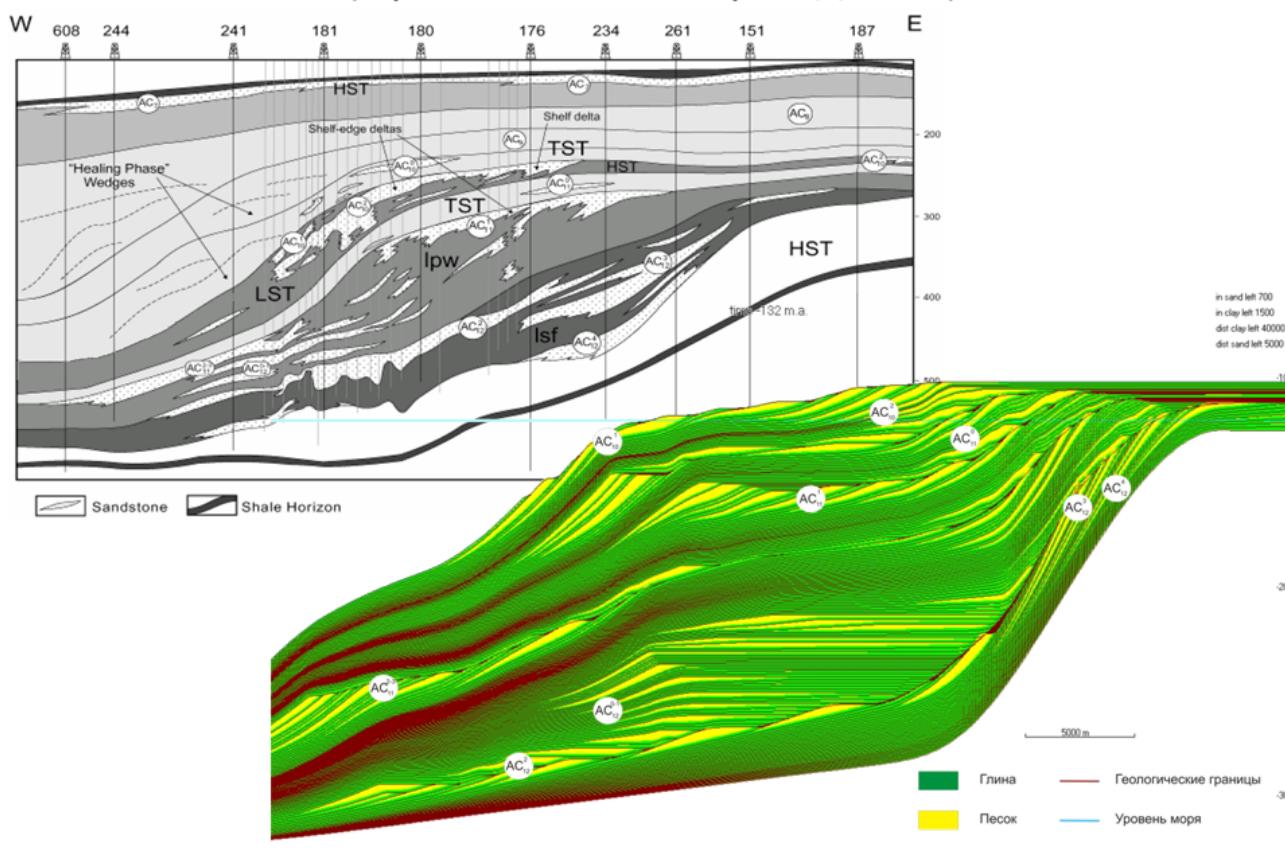
- ✓ Исходный рельеф области
- ✓ Колебания уровня моря
- ✓ Приток кластического материала
- ✓ Дальность переноса
- ✓ Параметры карбонатонакопления

## Выходные данные:

- ✓ Геологический разрез
- ✓ Фациальная модель
- ✓ Свойства пород:
  - ✓ Пористость
  - ✓ Проницаемость
  - ✓ Гранулометрия
  - ✓ Сортированность

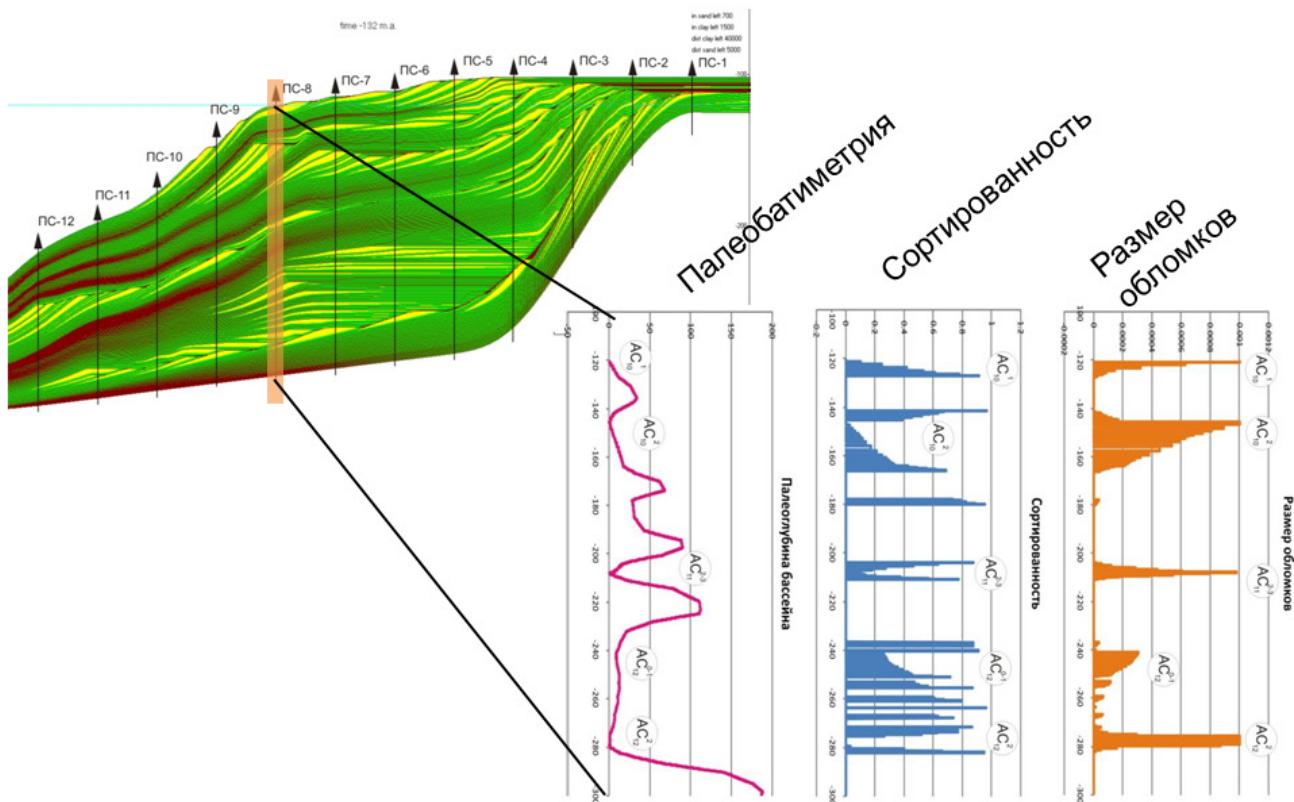


## Моделирование терригенного осадконакопления (Приобское месторождение)

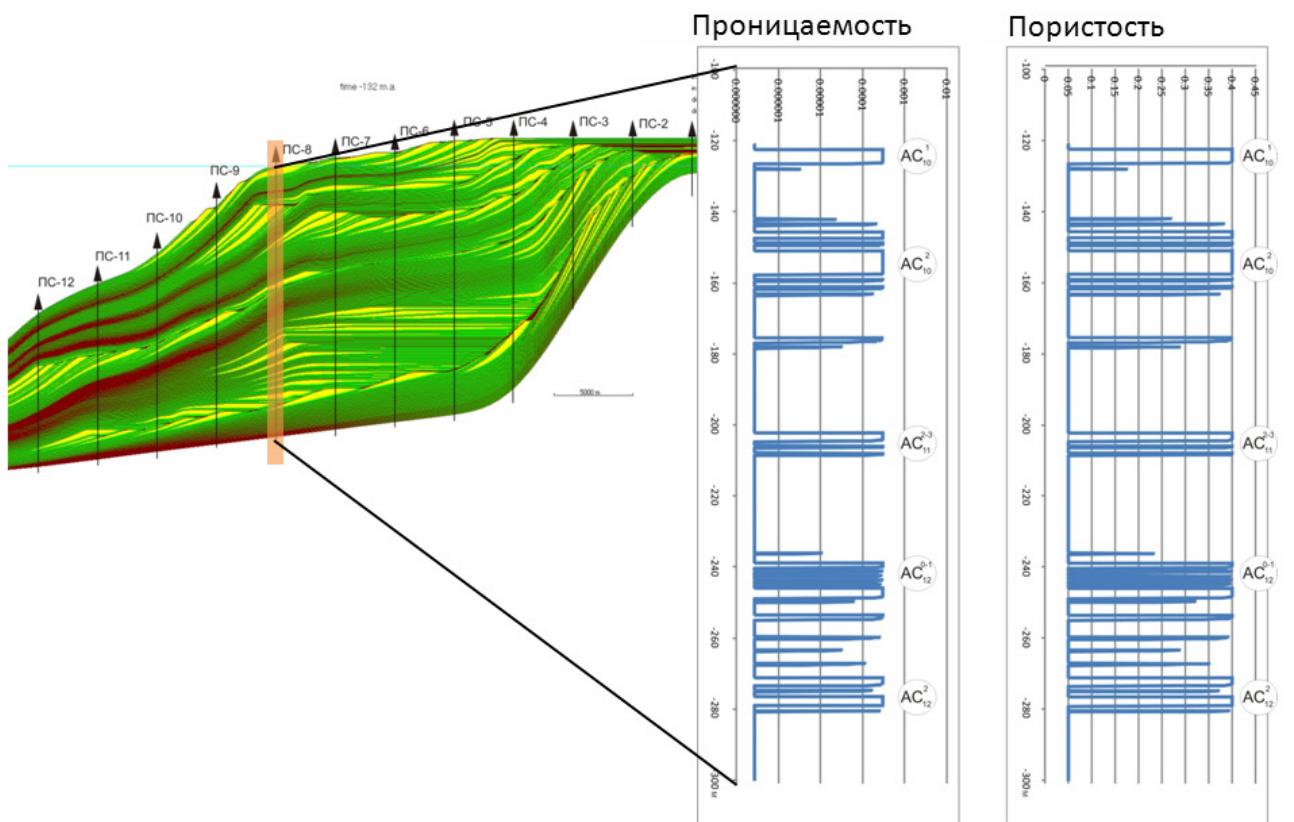


# Результаты моделирования

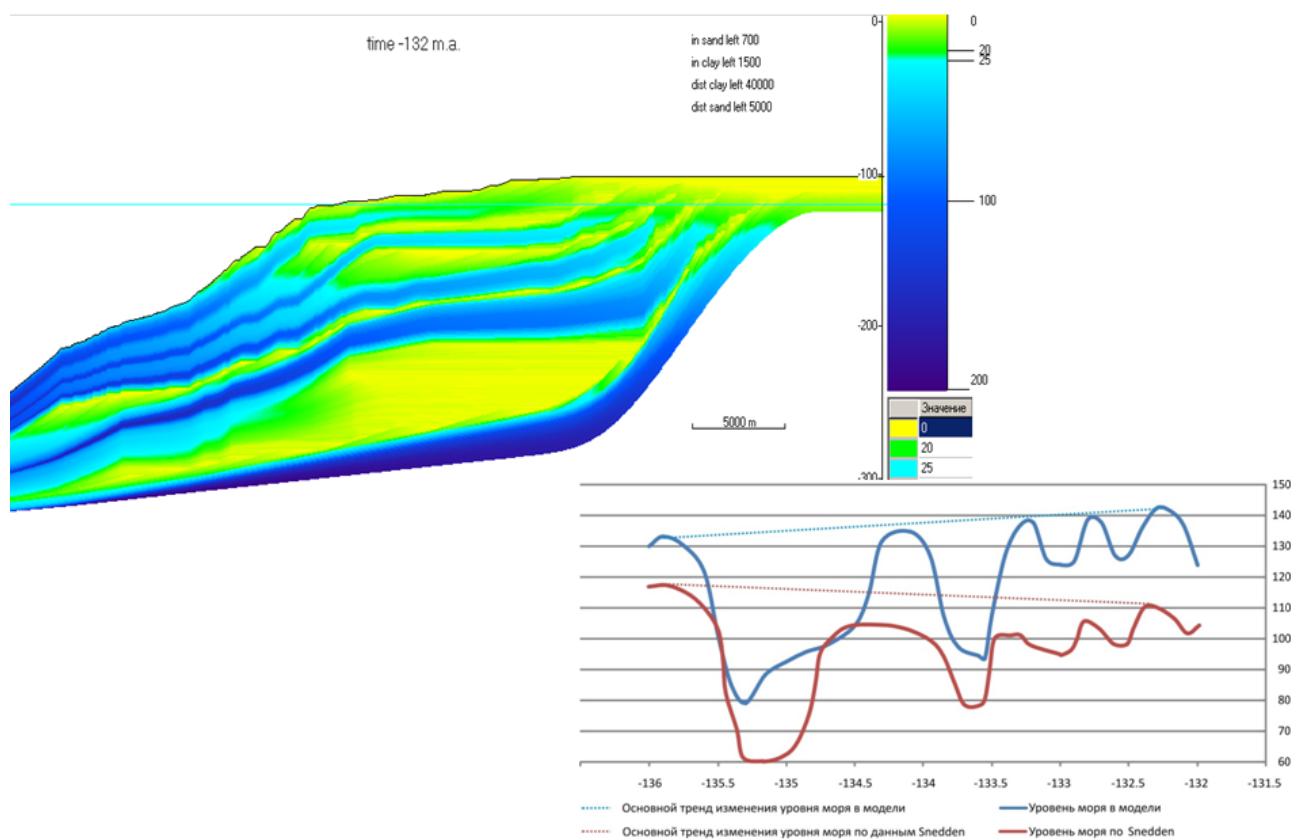
## Псевдоскважины



## Петрофизические характеристики

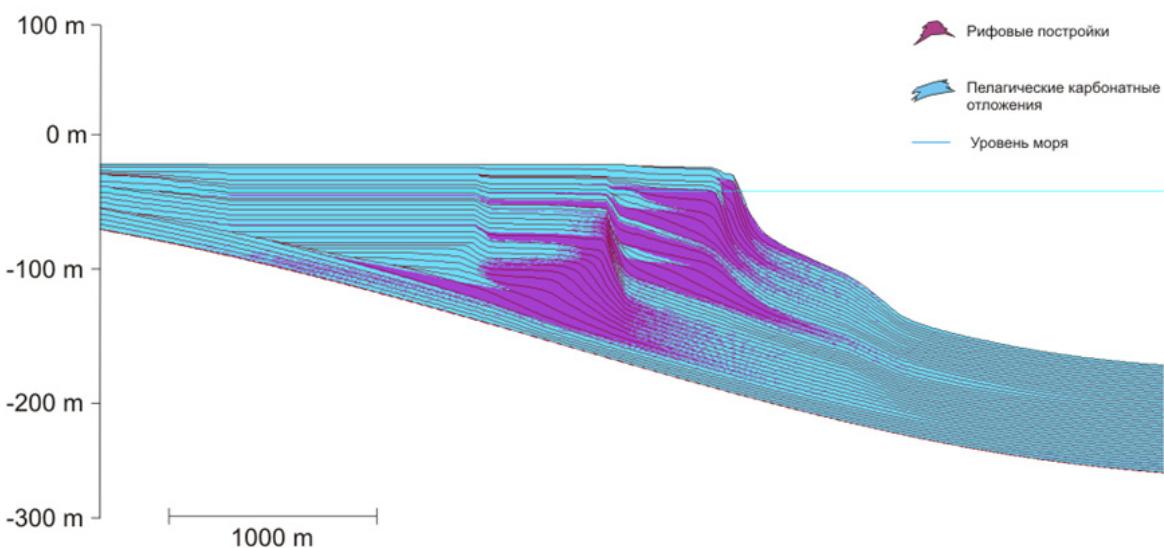


## Палеобатиметрия на момент отложения

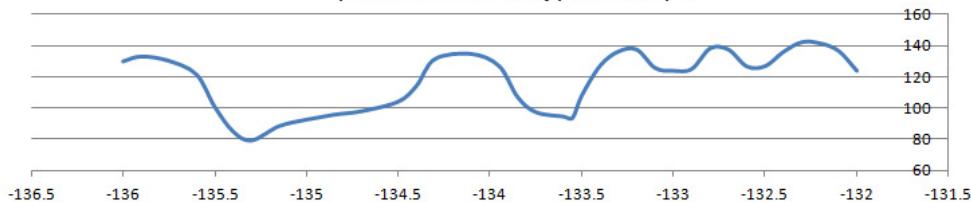


## Моделирование карбонатных отложений

Седиментационная модель карбонатной секвенции, полученная в результате моделирования



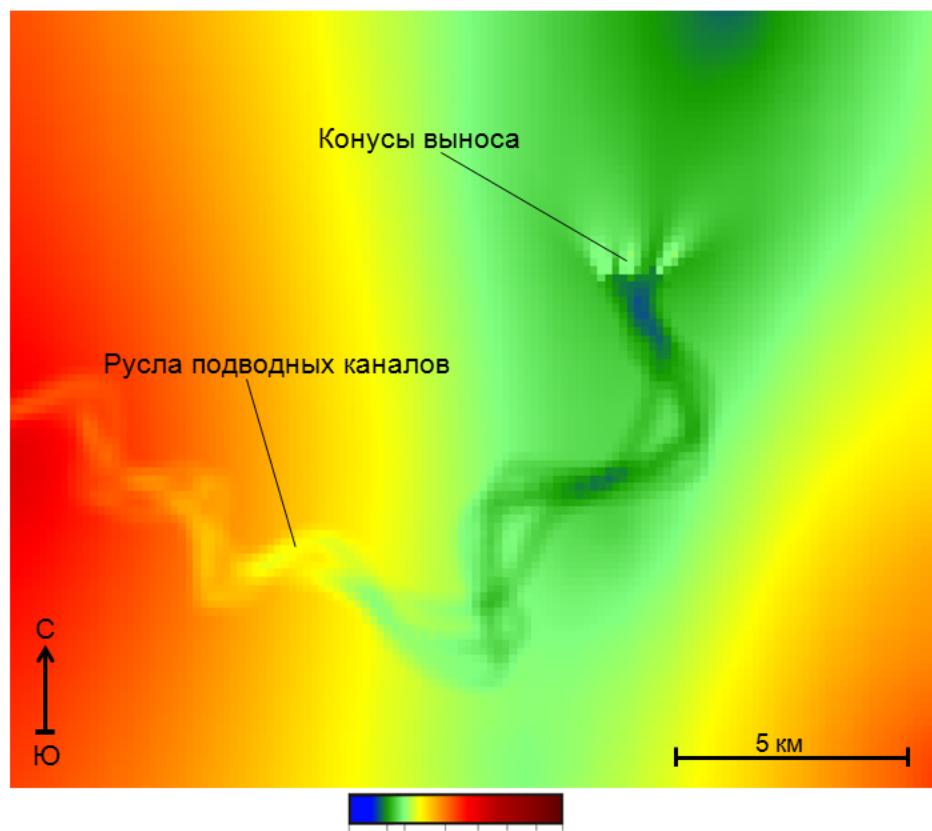
Кривая колебаний уровня моря



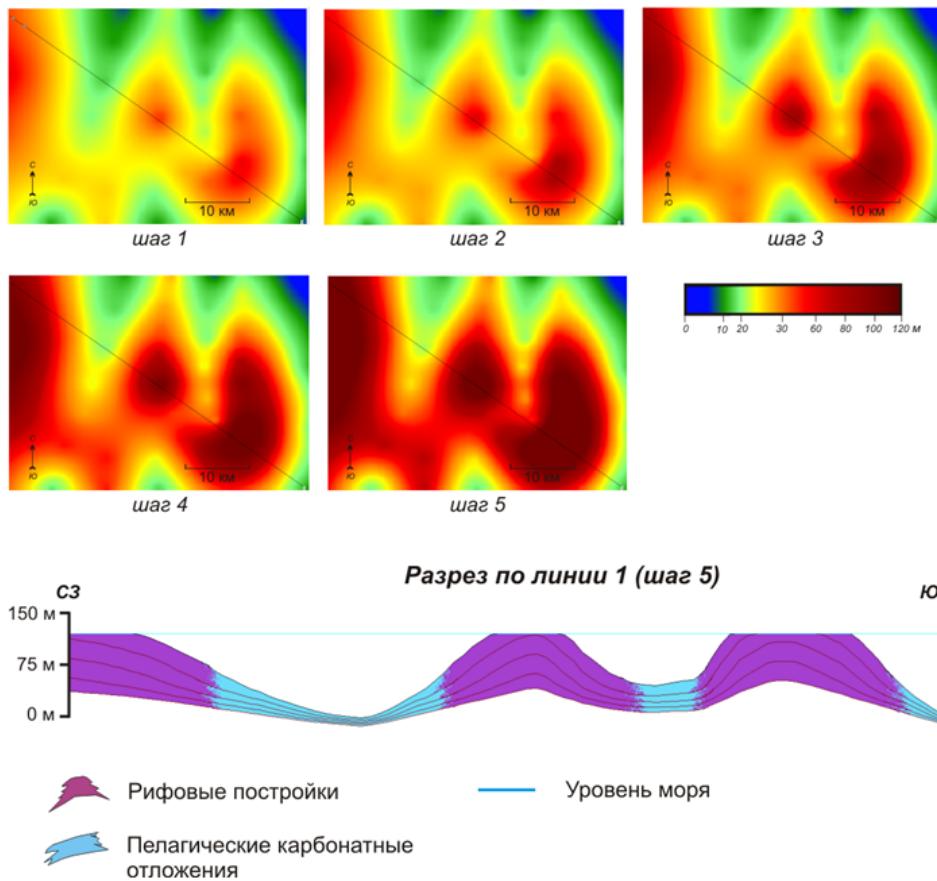
# Перспективы перехода к трем измерениям

- Моделирование подводных каналов
  - Моделирование заполнения канала
  - Моделирование прирусловых валов
  - Миграция и развитие канала во времени
- Моделирование конусов выноса
- Моделирование рифовых тел
  - Моделирование формы
  - Моделирование детальной фациальной структуры
  - Моделирование поверхностей размыва
- Моделирование пластовых карбонатов
- Моделирование карбонатных обломочных шлейфов

Модель переноса осадочного материала каналом с образованием конуса выноса



## Модель роста рифовых построек



## Раздел 4 «Петрофизические исследования керна»

В рамках конкурса «Инновационные проекты ВУЗов для нефтегазовой отрасли» по направлению «Петрофизические исследования керна» была представлена одна конкурсная работа: «Цифровая лаборатория исследования керна нефтегазовых месторождений «IntroRock» под авторством **Грачева Николая Евгеньевича**, генерального директора компании «IntroVision», участник проекта «Сколково».

Важнейшим этапом в изучении нефтегазоносности недр, оценки качества и объемов запасов углеводородов (УВ), планировании дальнейших геологоразведочных работ, оптимизации разработки месторождений является качественный отбор и исследование кернового материала с получением максимально возможной информации о структурных, текстурных особенностях разрезов горных пород, петрофизических характеристиках пластов-коллекторов, нефтенасыщенных и перспективных для поисков залежей УВ. (

Стандартные (RCA) и специальные (SCAL) исследования керна обеспечивают прямые и количественные измерения пластовых петрофизических свойств и должны стать основой для формирования комплексной оценки свойств пласта. К сожалению, и слишком часто, планирование, разработка программ и управление процессом анализа керна выполняются плохо и результаты часто запутаны или противоречивы, в результате чего около 70% от данных SCAL, как правило, непригодны для использования. Нестабильное качество данных, чувствительность результатов к различным методам исследований и низкие стандарты отчетности внесли свой вклад в основные ошибки и плохое качество данных.

На данный момент исследования керна ведутся традиционными лабораторными методами. Хотя потенциал современных цифровых технологий остается неиспользуемым, он обладает рядом преимуществ, среди которых можно выделить: компактность и меньшая стоимость лаборатории; на порядок большие скорость, точность и информативность, а также меньшая стоимость исследований керна; возможность исследования керна нетрадиционных месторождений (низкая проницаемость, высоковязкая нефть, сланцы, баженовская свита).

## «Цифровая лаборатория исследования керна нефтегазовых месторождений «IntroRock»

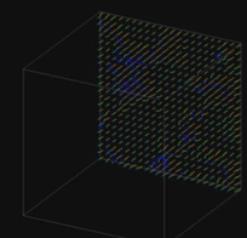
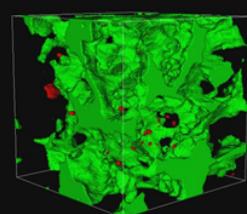


### Цифровая лаборатория исследования керна нефтегазовых месторождений «IntroRock»

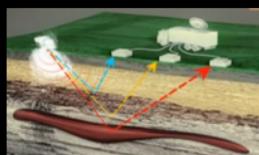


#### Пилотная версия системы цифрового исследования керна IntroRock

- Загрузка и обработка томографических изображений
- Моделирование однофазной фильтрации газа в пористой среде
- Расчет абсолютной проницаемости образца
- Моделирование двухфазной фильтрации нефть-вода в пористой среде
- Расчет фазовых проницаемостей образца
- Использование графических процессоров



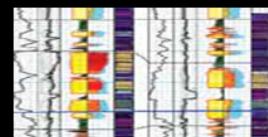
## Методы исследования нефтегазовых месторождений



Сейсморазведка



Керн



Исследования скважин

### Керн

- Выбуренный и доставленный на поверхность образец горной породы;
- Наиболее достоверный источник информации о нефтегазоносном пласте.

### Актуальность исследования керна

- Определение объема запасов углеводородов;
- Выбор технологии извлечения полезных ископаемых.

На данный момент исследования керна ведутся традиционными лабораторными методами

Потенциал современных цифровых технологий остается неиспользуемым

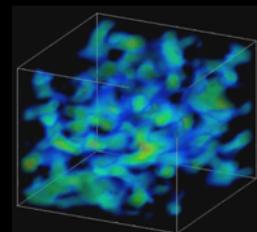
## Цифровые исследования керна



**Преимущества:** компактность и меньшая стоимость лаборатории; на порядок большие скорость, точность и информативность, а также меньшая стоимость исследований керна; возможность исследования керна нетрадиционных месторождений (низкая проницаемость, высоковязкая нефть, сланцы, баженовская свита)

# Бизнес-модель

- Услуги по исследованию керна
- Программное обеспечение
- Программно-аппаратный комплекс «Цифровая петрофизическая лаборатория»
- Мобильная лаборатория на промысел
- Электронное кернохранилище



## Описание рынка

Объем российского рынка нефтегазосервисных услуг порядка \$15-20 млрд.

Объем российского рынка услуг по традиционным исследованиям керна достигает \$100-140 млн.

Мировой рынок более \$2 млрд.

**Цифровые исследования керна –  
новый сегмент рынка**

В России аналогов нет

В мире – три компании: Ingrain, USA; Numerical Rocks, Norway; DigitalCore, Australia  
Доход компании Ingrain составляет около \$20 млн. в год



## Достижения

- 11 сотрудников, выпускники МГУ им. М.В. Ломоносова
- Разработка пилотной версии программного продукта

### Партнеры



СТУДЕНЧЕСКИЙ  
БИЗНЕС-ИНКУБАТОР

### Конкурсы



### Отзывы и пилотные проекты

- МГУ им. М.В. Ломоносова
- Нефтяные компании
- Нефтесервисные компании

