

Нефтепереработка и нефтехимия:

от фундаментальной науки к решению прикладных задач

«Вся наука — прикладная. Разница только в том, что отдельные ее приложения возникают очень быстро, а другие — через столетия, но все, чем пользуется наша цивилизация, — результат развития науки»

10 крупнейших стран по запасам нефти и газа

Доказанные запасы нефти, млрд т		Доказанные запасы природного газа, трлн м ³	
Саудовская Аравия	35,3	Россия	47,6
Россия	25,2	Иран	26,6
Канада	24,3	Катар	25,8
Иран	17,1	Саудовская Аравия	6,5
Ирак	15,6	ОАО	5,9
ОАО	13,3	США	5,3
Кувейт	13,1	Алжир	4,5
Венесуэла	10,6	Нигерия	4,5
Ливия	4,9	Венесуэла	4,2
Нигерия	3,4	Ирак	3,1
Итого 10 стран	162,8	Итого 10 стран	134,0
Из них страны-члены ОПЕК	113,3	Из них страны-члены ОПЕК	81,1
Мир (с поправкой на Россию)	189,2	Мир	172,1
Доля 10 стран в мировых запасах	86%	Доля 10 стран в мировых запасах	77,9

Химическая продукция
Пластики, Лекарства, Краски,
Растворители, Волокна, Косметика,
Одежда и Обувь...

Промежуточные соединения

Метанол, Винилхлорид, Стирол,
Формальдегид, Этиленоксид,
Уксусная кислота,
Акрилонитрил, Акриловая
кислота, Циклогексан

Основные продукты

Этилен, Пропилен,
Бутадиен,
Бензол, Синтез-газ,
Ацетилен

Топливо

Нефть
Уголь
Газ



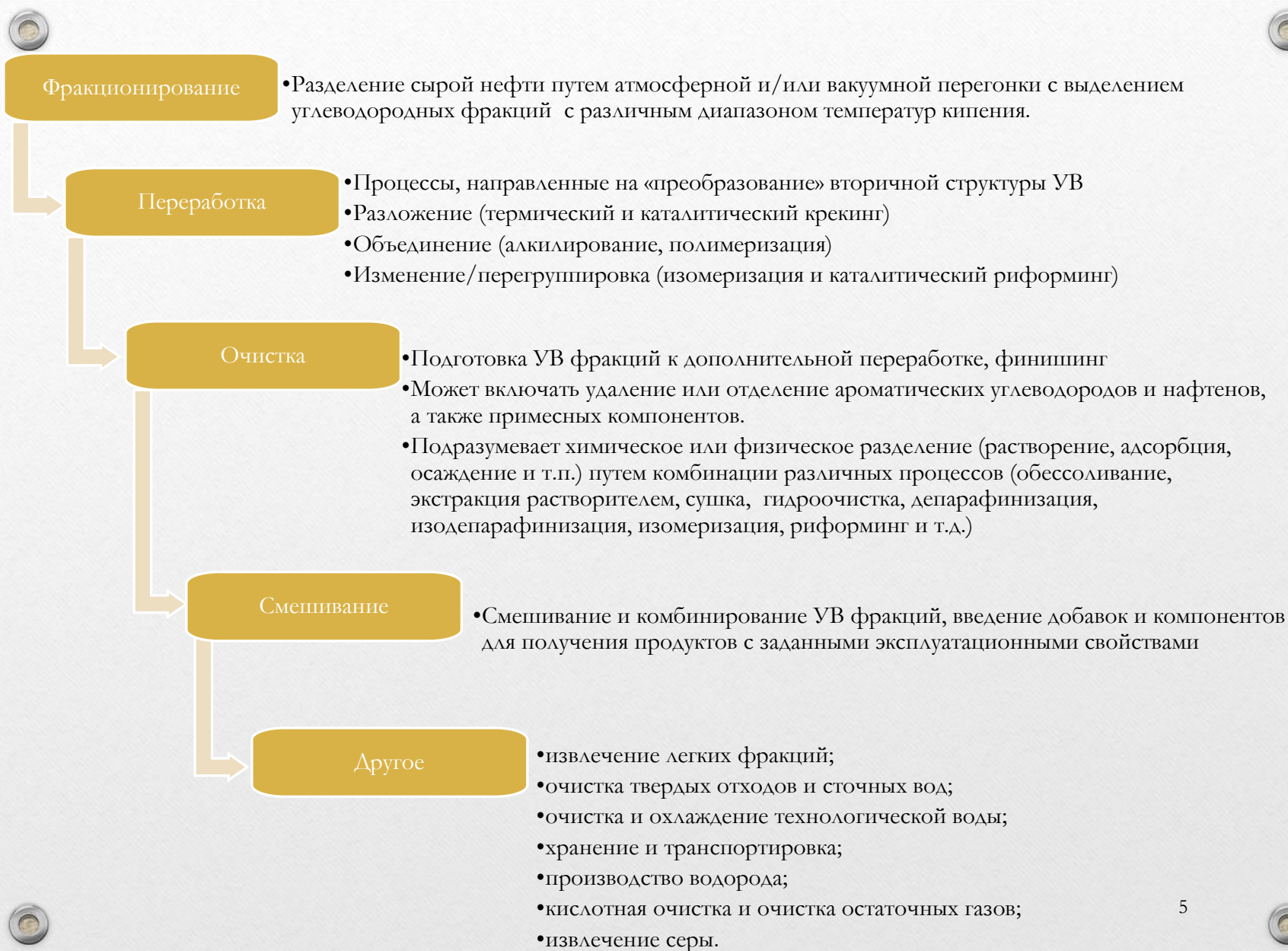


Продукция нефтехимии	Всего, .млн.т.
Этилен	126,7
Пропилен	84
Этиленоксид и гликоли	9,2
Пропиленоксид	5,7
Бутиловые альдегиды	4,6
Альдегиды высших спиртов	0,4
Уксусная кислота	8
Акриловая кислота	2,9
Акрилонитрил	3,1
Адипиновая кислота	2,4
Капролактam	2,9
Фталевый ангидрид	3,6
Малеиновый ангидрид	1,35

30 % всей нефтехимии основано на превращениях этилена

Мировое производство этилена – более 10^8 тонн в год

Стадии нефтепереработки



КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ

733 млн. т



Бензиновая фракция

ГИДРОКРЕКИНГ

290 млн. т



Бензиновая фракция
Дизельная фракция

РИФОРМИНГ

579 млн. т



Водородсодержащий газ
Риформат ($ОЧ=76\div90$ п.)

ГИДРООЧИСТКА

2350 млн. т



Нефтяные фракции
Дизельное топливо







Устойчивое развитие - модели использования ресурсов. Подразумевает удовлетворение потребностей человека при сохранении окружающей среды. При этом эти потребности могут быть удовлетворены не только для настоящего, но и для будущих поколений.

«Устойчивое развитие подразумевает удовлетворение потребностей современного поколения, не угрожая возможности будущих поколений удовлетворять собственные потребности»

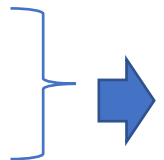
С точки зрения использования природных ресурсов, можно выделить четыре критерия устойчивого развития:

1. Количество возобновляемых природных ресурсов (земля, лес, вода и др.) должно не уменьшаться, т.е. должен быть обеспечен режим простого воспроизводства.
2. Замедление темпов исчезновения запасов невозобновляемых природных ресурсов с перспективой замены их на возобновляемые природные ресурсы.
3. Возможность минимизации отходов на основе внедрения малоотходных, ресурсосберегающих технологий.
4. Загрязнение окружающей среды в перспективе не должно превышать его современный уровень.

Актуальность

↑ Энергопотребление

- Рациональное природопользование, ресурсосбережение
- Энергетическая безопасность
- Экологическая безопасность



- Частичная замена сырьевой базы на нетрадиционное углеродсодержащее сырье
- Диверсификация производства высококачественных компонентов товарных топлив, отвечающих экологическим стандартам, и сырья для нефтехимических производств



- Снижение выбросов парниковых газов/ диоксида углерода
- Сокращение углеродного следа
- Сокращение отходов

- Ухудшение качества сырья
- Вовлечение био- возобновляемого сырья/ совместная переработка
- Увеличение глубины переработки
- Ужесточение экологических норм
- Необходимость осуществления процессов в жестких условиях (повышенный расход ВСГ)
- «Низкоуглеродная» энергетика

Разработка носителей и катализаторов/ оптимизация свойств

- Разработка новых функциональных материалов с заданными кислотно-основными, текстурными и структурными характеристиками
- Разработка способов селективной функционализации поверхности носителя и иммобилизации активного компонента
- Разработка способов повышения стабильности катализаторов

Разработка технологий глубокой переработки нефтяных фракций , тяжелого и нетрадиционного УВ сырья

- Разработка методов вовлечения тяжелого нефтяного сырья (битуминозных пород, сверх тяжелой нефти, углеродистых сланцев и пр.) в производство моторного топлива и сырья для нефтехимии
- Разработка методов вовлечения био- возобновляемого сырья

Современные вызовы

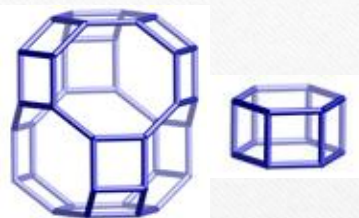
1. Разработка перспективных каталитических процессов нефтехимического и органического синтеза, процессов углублённой переработки нефти
2. Разработка катализаторов для процессов нефтепереработки и нефтехимии
3. Разработка технологических решений по переработке возобновляемого сырья и катализаторов таких процессов
4. Разработка технологических решений по вовлечению в переработку диоксида углерода с получением ценных продуктов; утилизация отходов
5. Разработка

Цеолиты

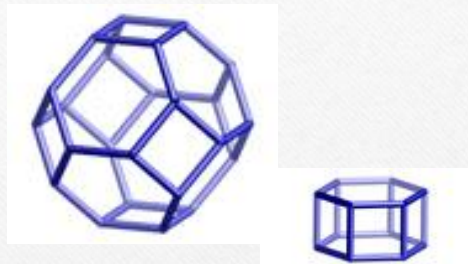
Содалит



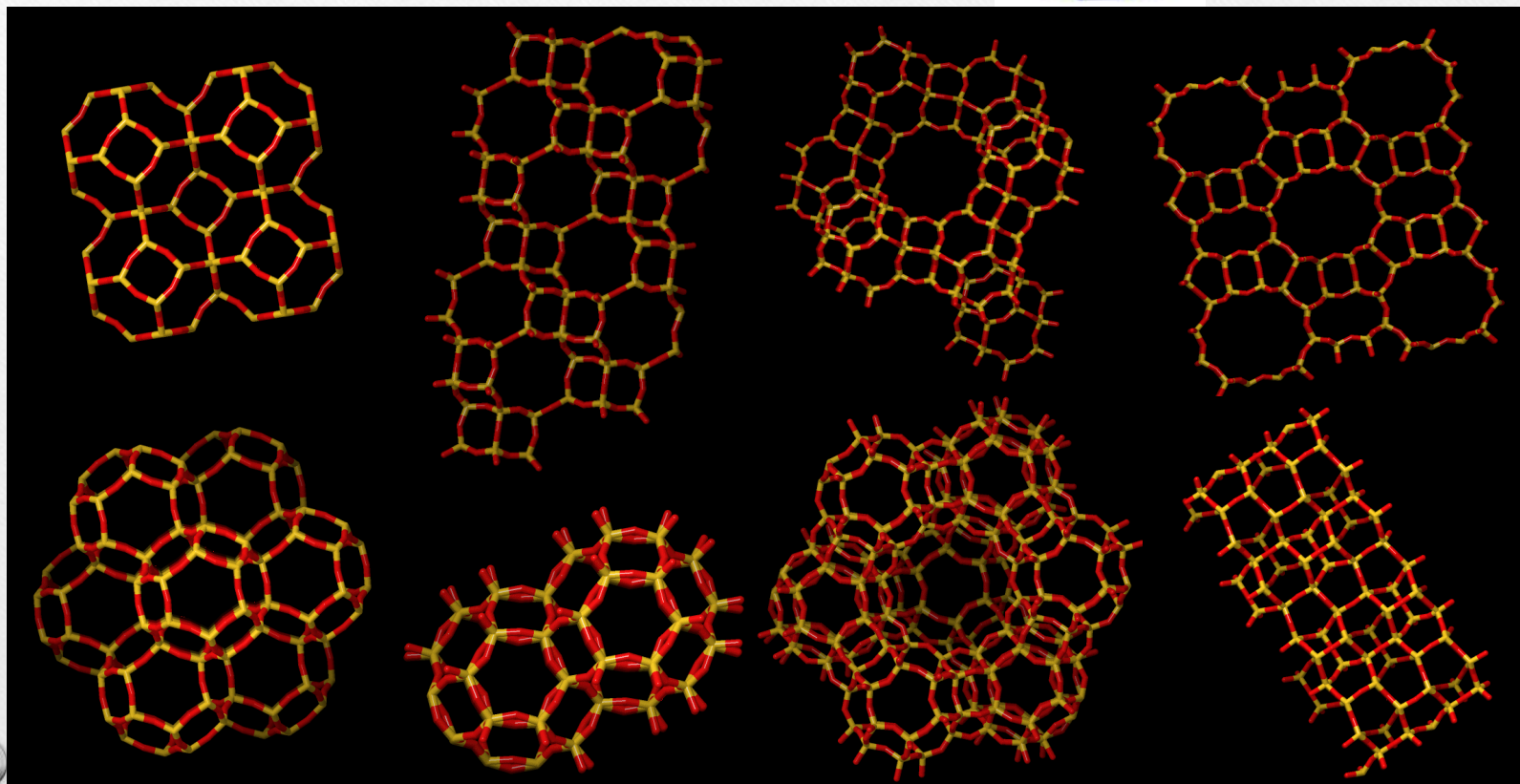
Шабазит



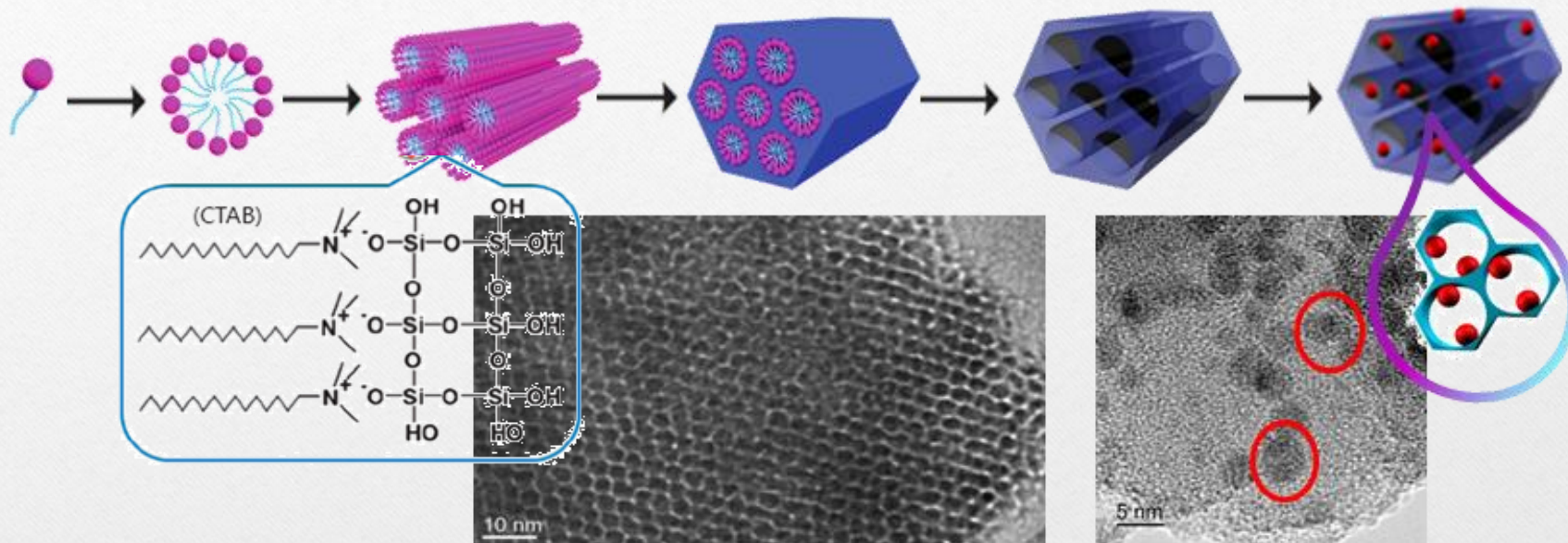
Фожазит



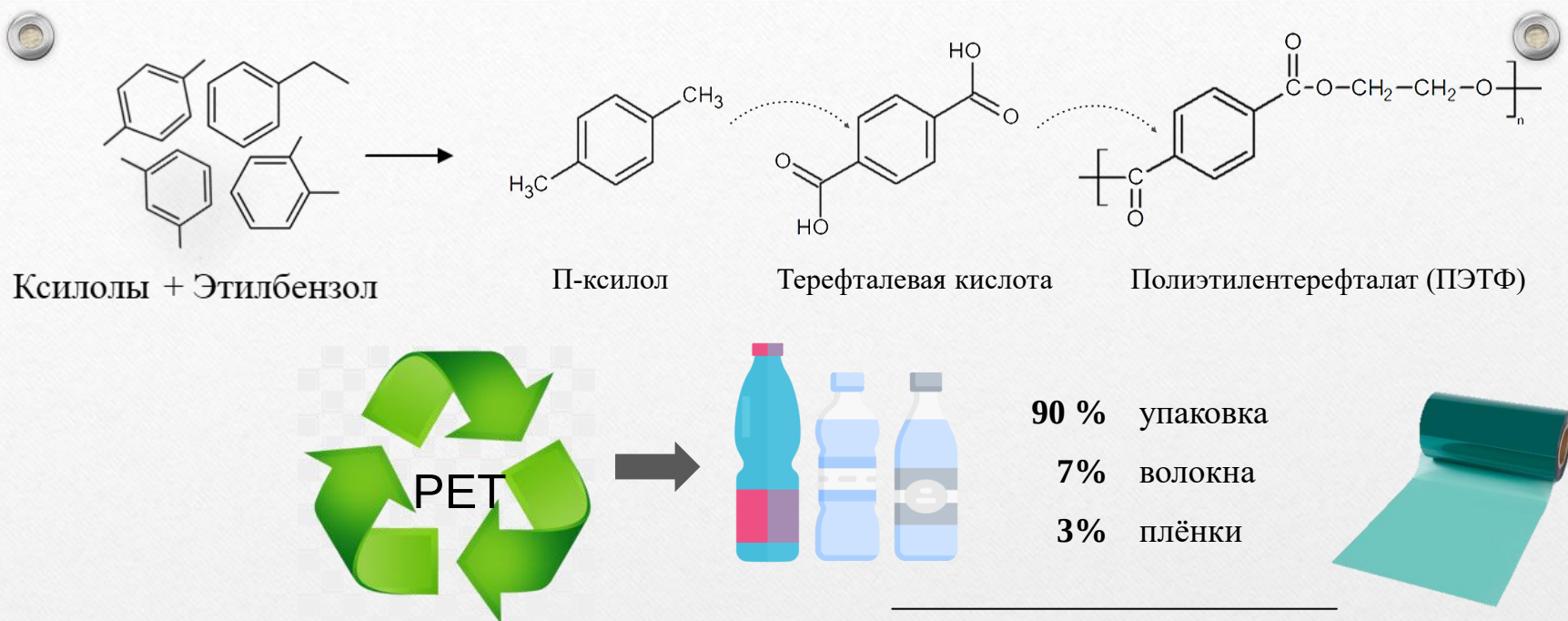
Морденит



Упорядоченные мезопористые силикаты и алюмосиликаты



ИЗОМЕРИЗАЦИЯ АРОМАТИЧЕСКОЙ ФРАКЦИИ С-8



Производство ПЭТФ с **2010** года выросло на **94%**

В РФ ксилолы производятся под давлением водорода на трех НПЗ:



«Омский НПЗ»
(ПАО «Газпромнефть»)

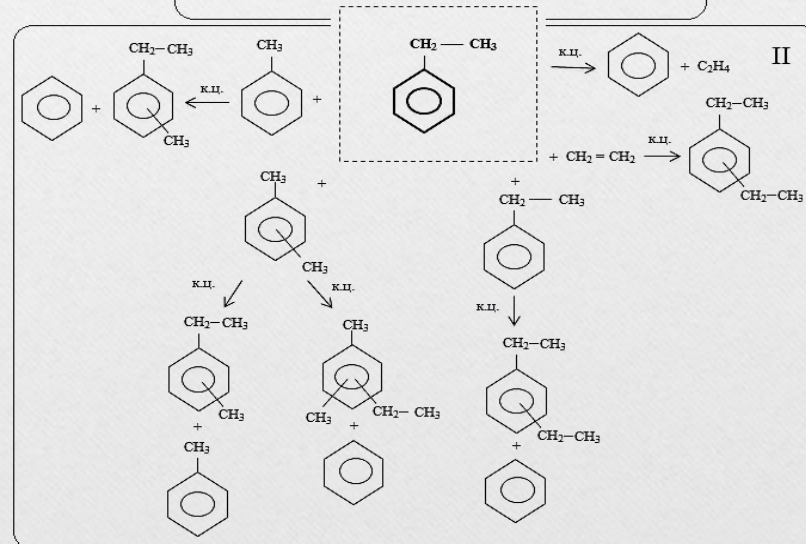
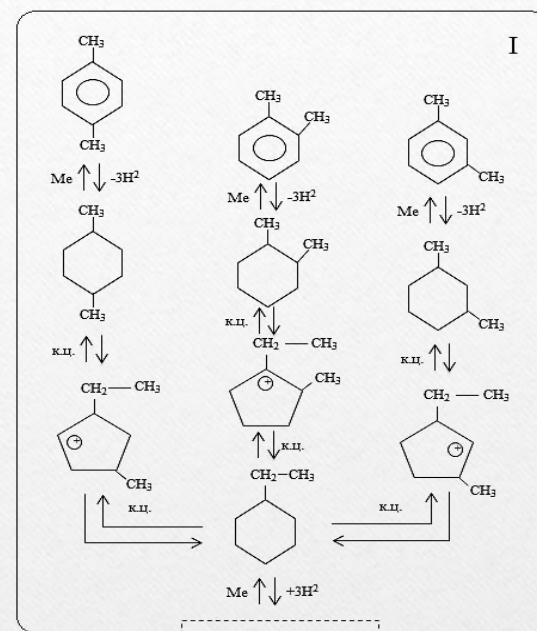
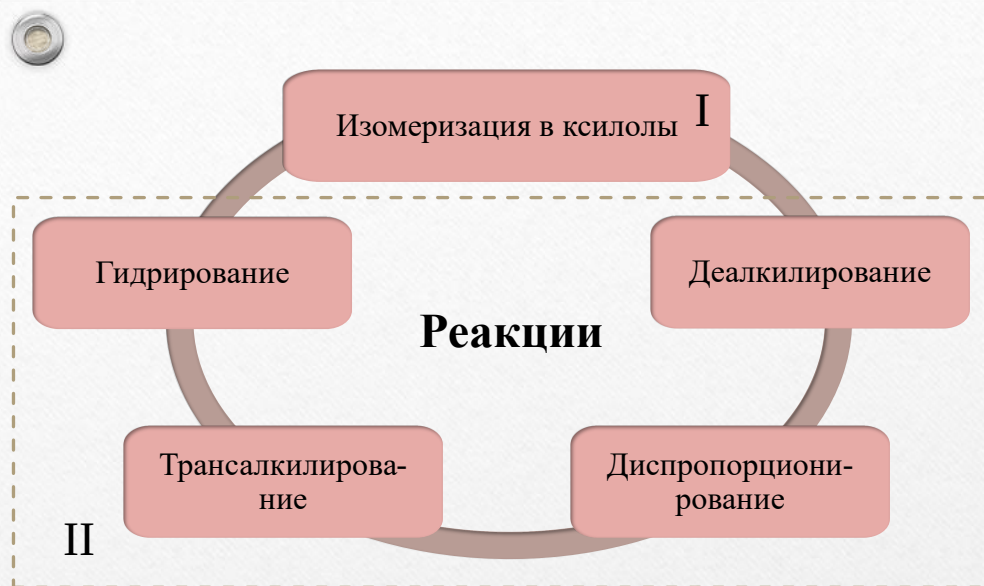


«Уфанефтехим»
(ОАО «Роснефть»)



«ПО Киришинефтеоргсинтез»
(ОАО «Сургутнефтегаз»)

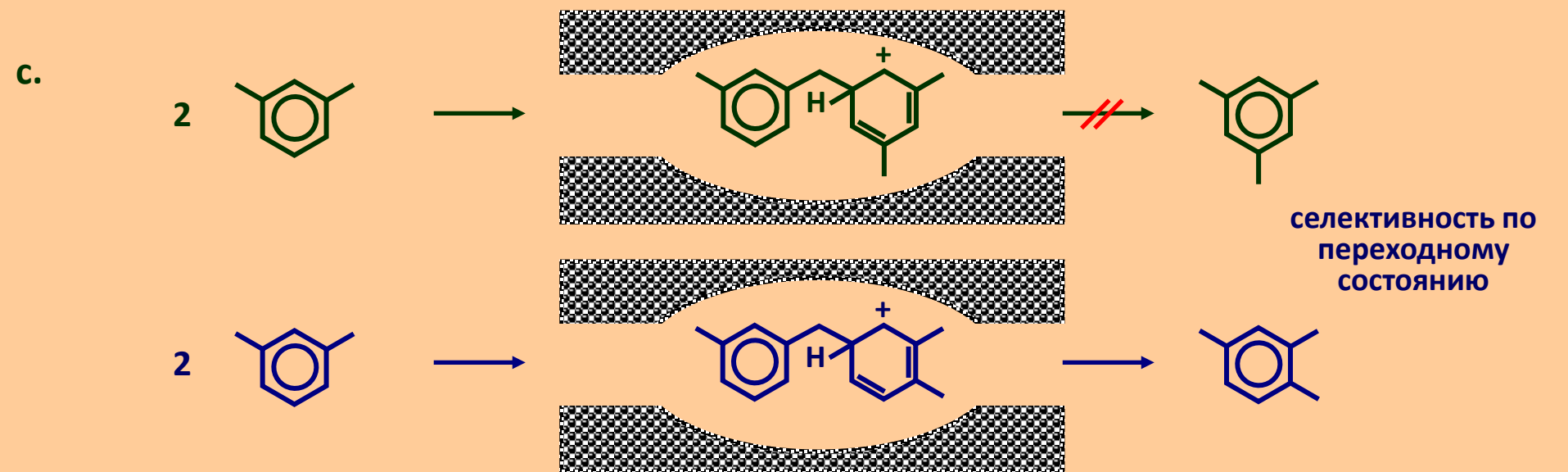
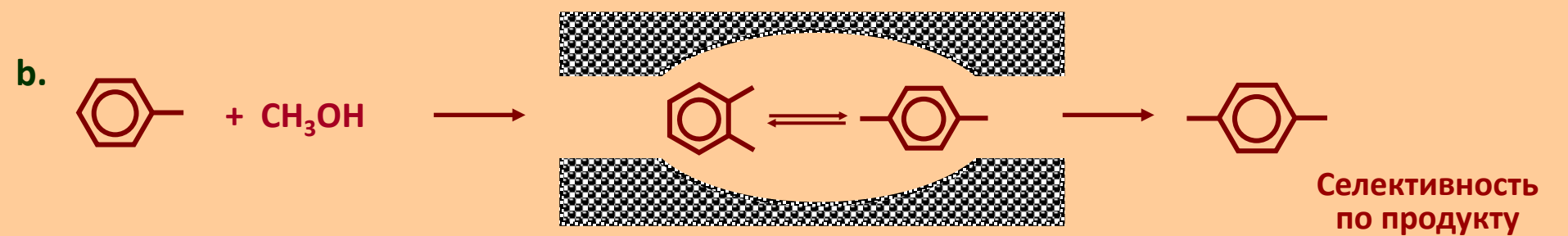
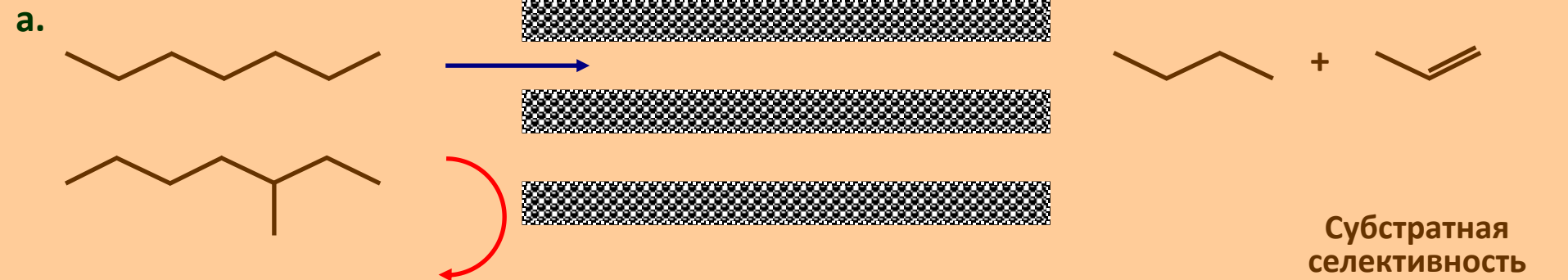
ИЗОМЕРИЗАЦИЯ АРОМАТИЧЕСКОЙ ФРАКЦИИ С-8. ХИМИЗМ ПРОЦЕССА



Благородные металлы

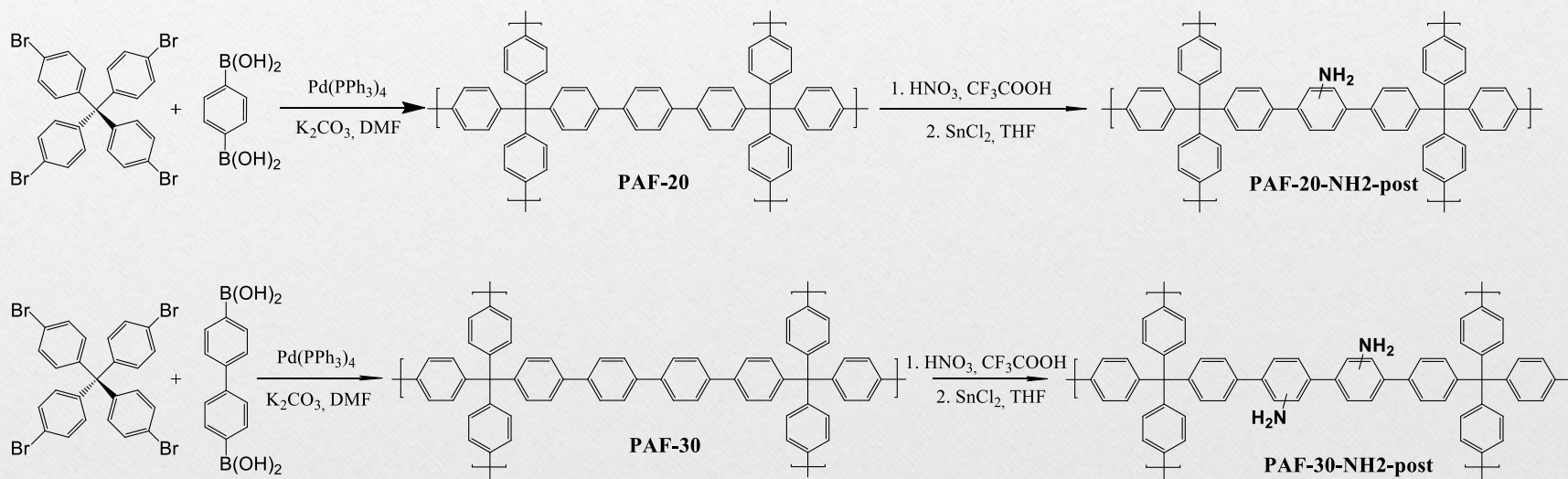


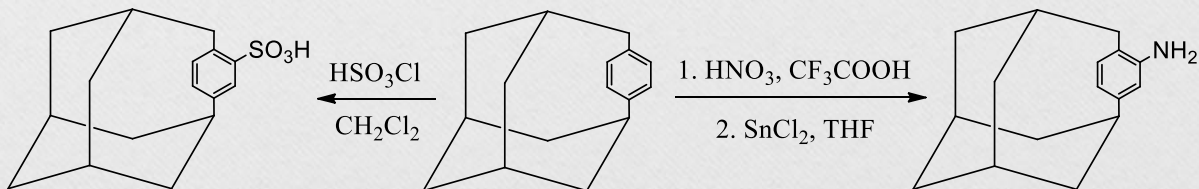
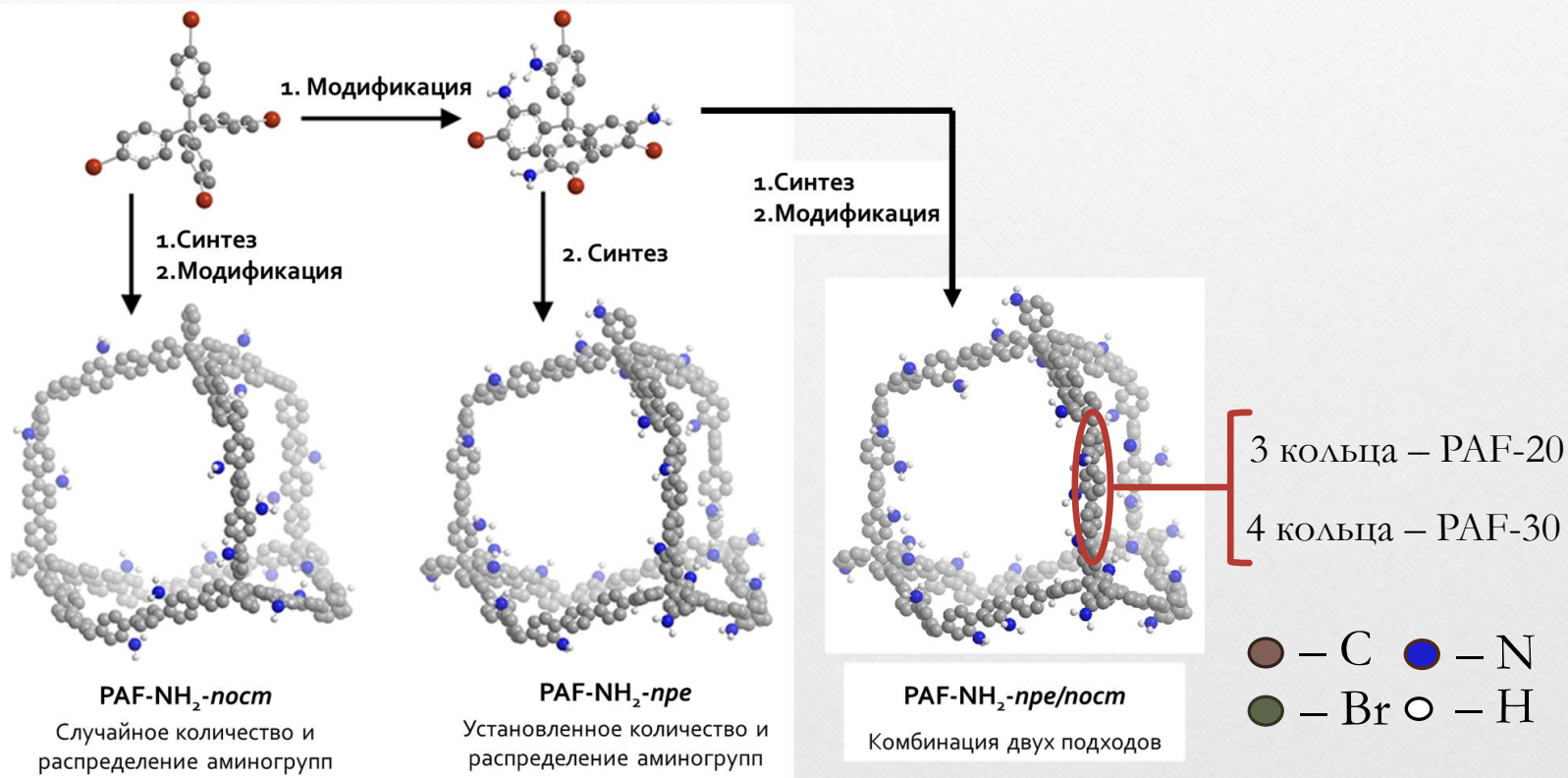
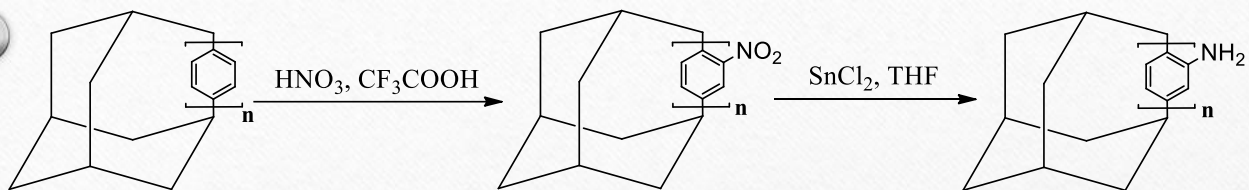
Водород



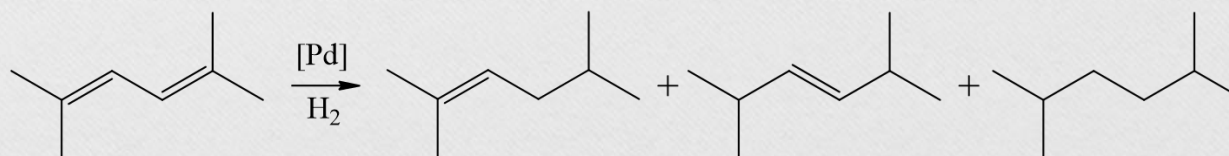
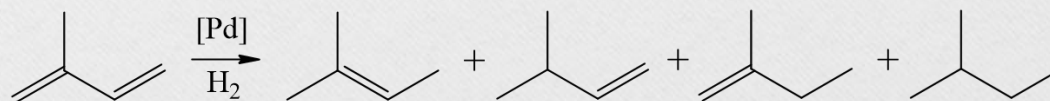
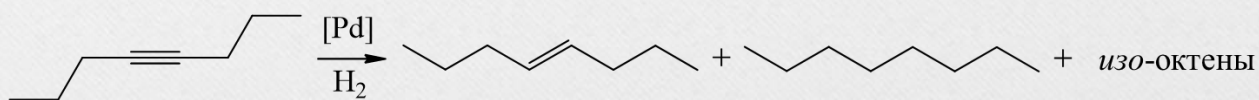
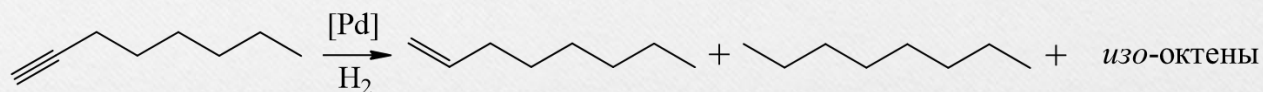
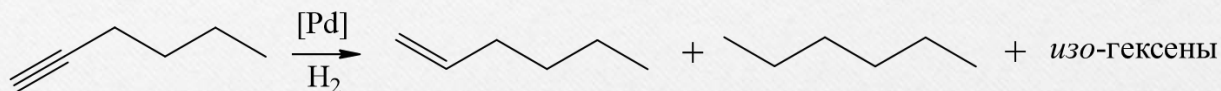
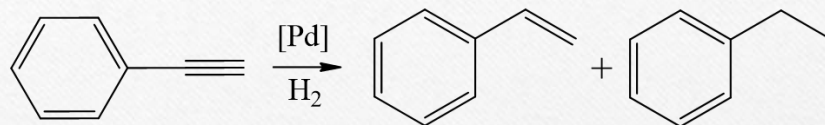
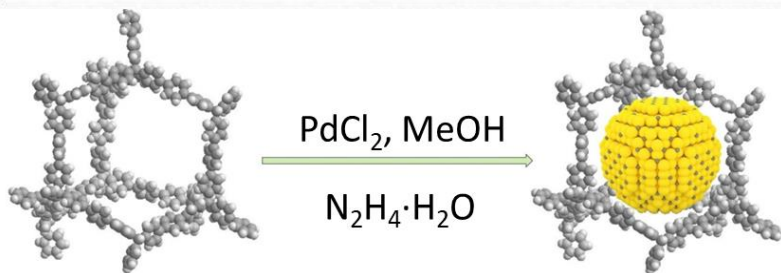
Катализаторы на основе пористых ароматических каркасов

Пористые ароматические каркасы (Porous Aromatic Frameworks, PAF) – это класс пористых органических полимеров, состоящих из соединенных друг с другом ковалентными С–С связями ароматических колец. Широкий спектр доступных мономеров, методов функционализации ароматических колец и синтеза материалов открывают путь к созданию PAF, обладающих набором структурных характеристик для каждого конкретного процесса. Пористая структура каркасов позволяет эффективно стабилизировать наночастицы и комплексы переходных металлов, а введение функциональных групп способствует их равномерному распределению, повышению активности, селективности и стабильности катализатора.



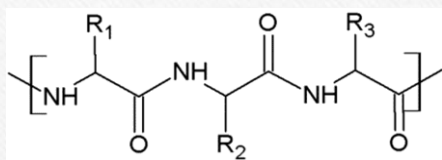


Селективное гидрирование ацетиленов и диенов

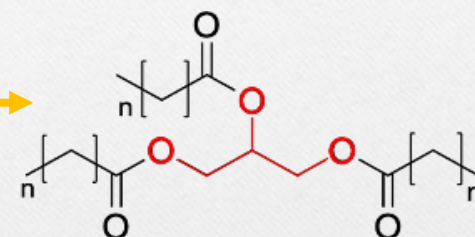


БИОСЫРЬЁ

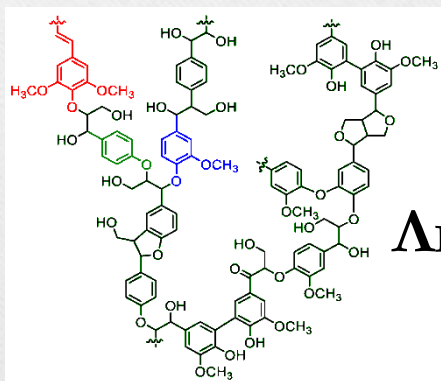
- Сельскохозяйственные культуры, богатые жирами, сахарами и крахмалом (кукуруза, пшеница, сахарный тростник, сахарная свекла).
- Масленичные культуры (рапс, подсолнечник, соя, пальмовое масло) для производства биодизеля
- отходы сельскохозяйственной, деревообрабатывающей, бумажно-целлюлозной и лесной промышленности
- Водоросли и микроорганизмы



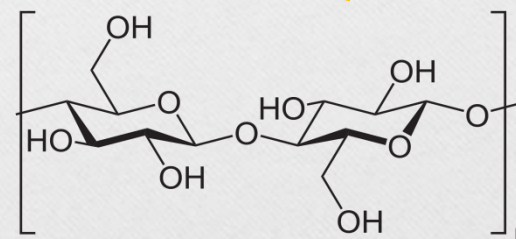
Белки



Триглицериды жирных кислот



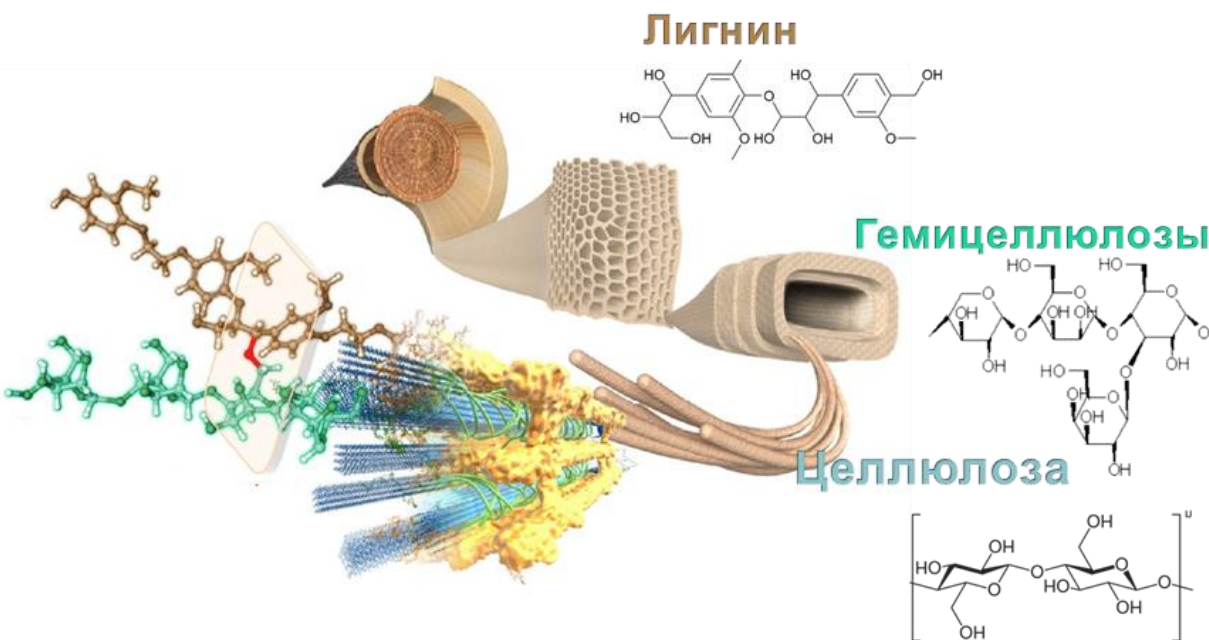
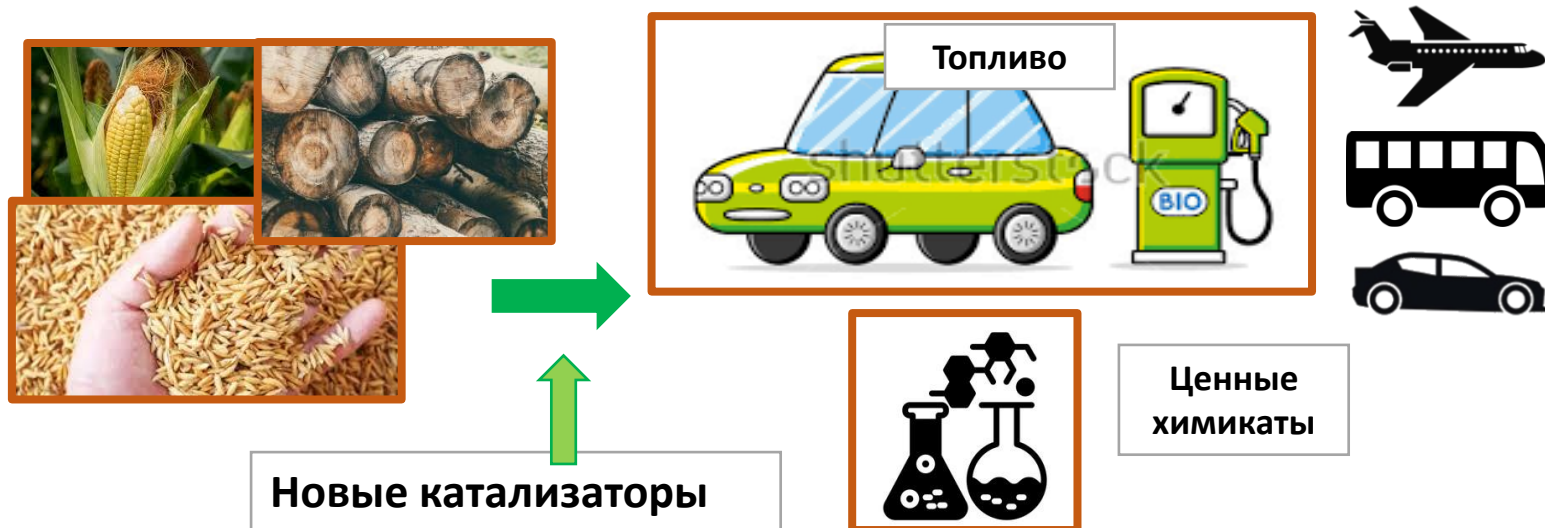
ЛИГНИН



Саха

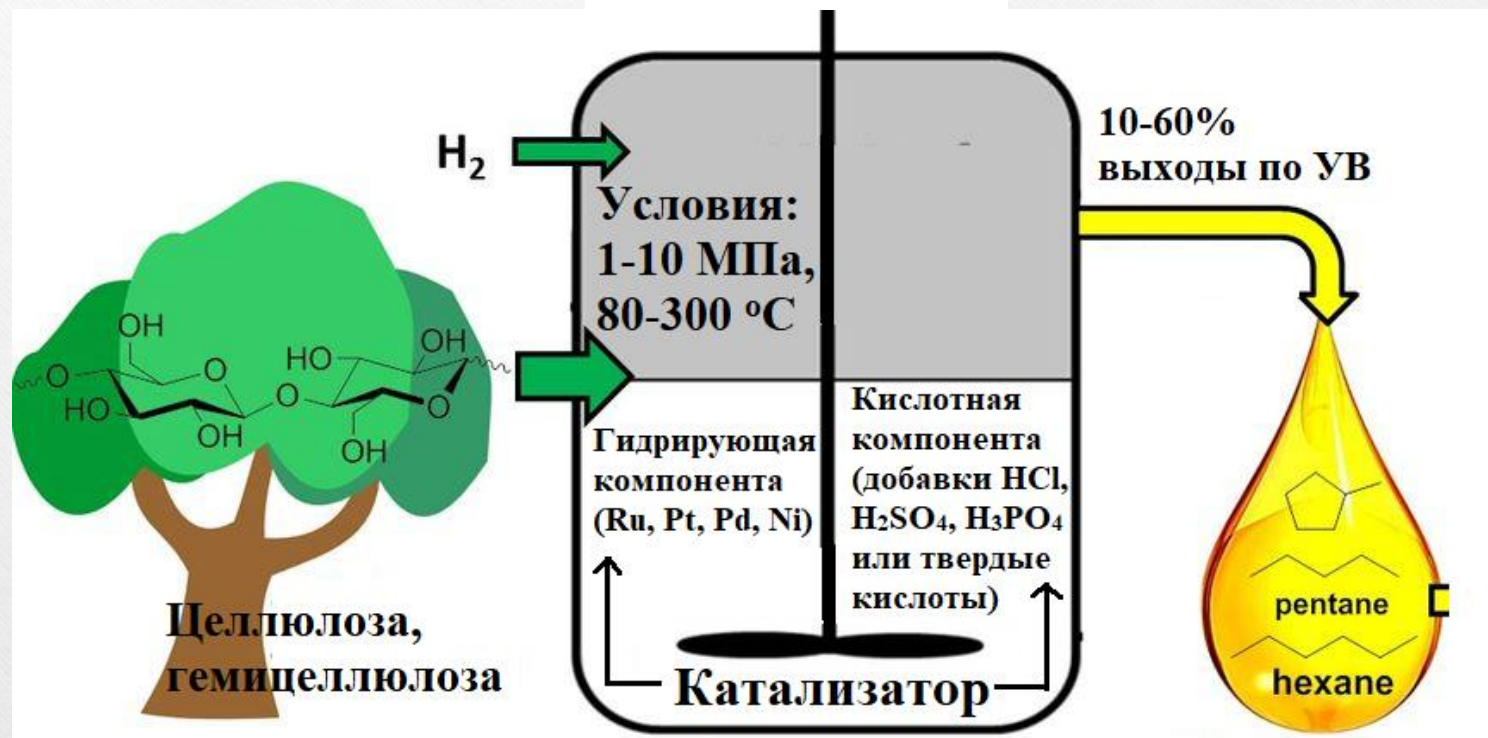
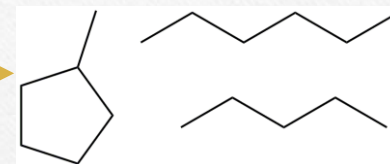
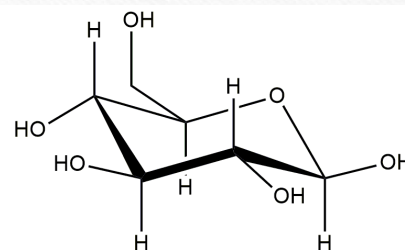
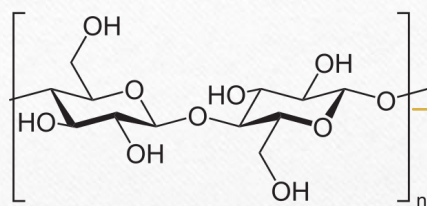
В РФ 1 млрд. м³ лесотехнических отходов в виде пней, ветвей, опилок, шелухи – лигниноцеллюлозная биомасса

Состав лигниноцеллюлозной биомассы: **40-60% целлюлозы**, **20-30% гемицеллюлозы**, 20-30% лигнина.

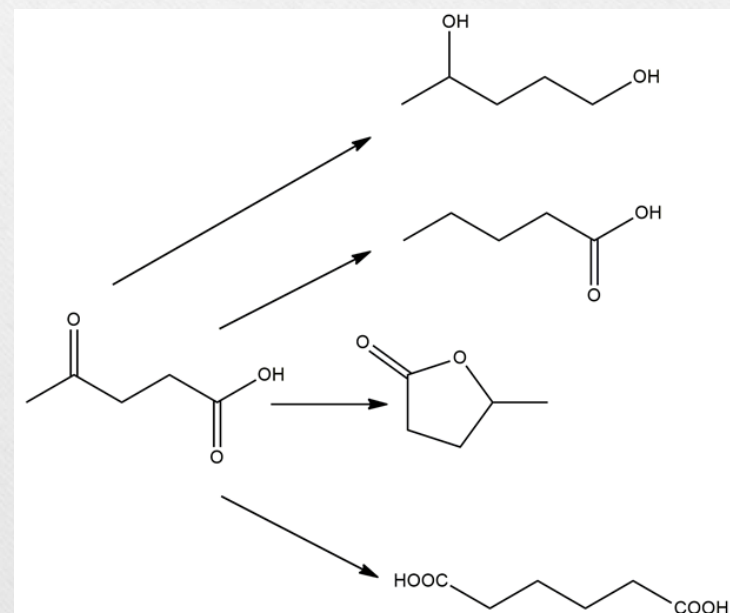
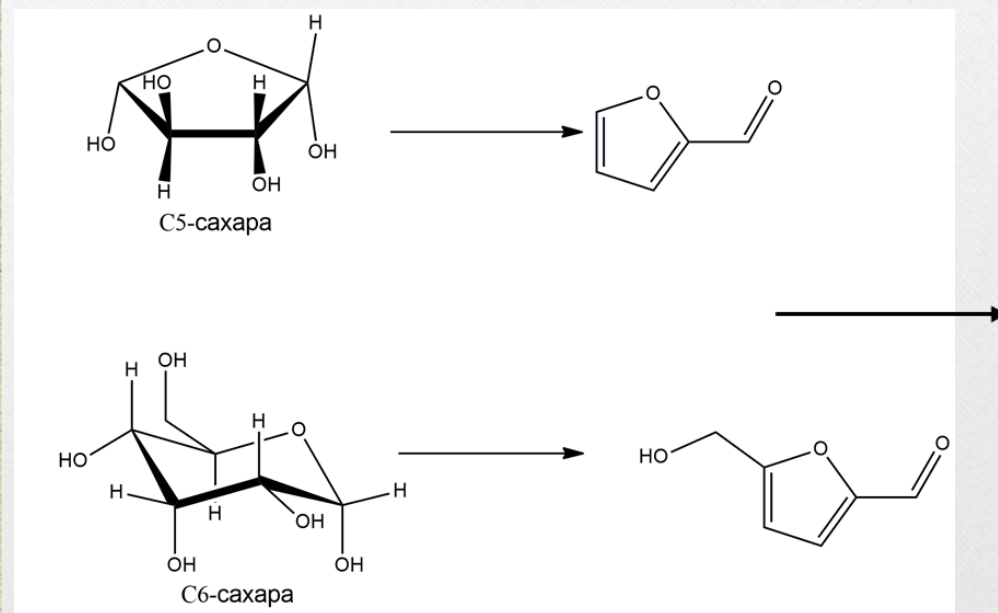
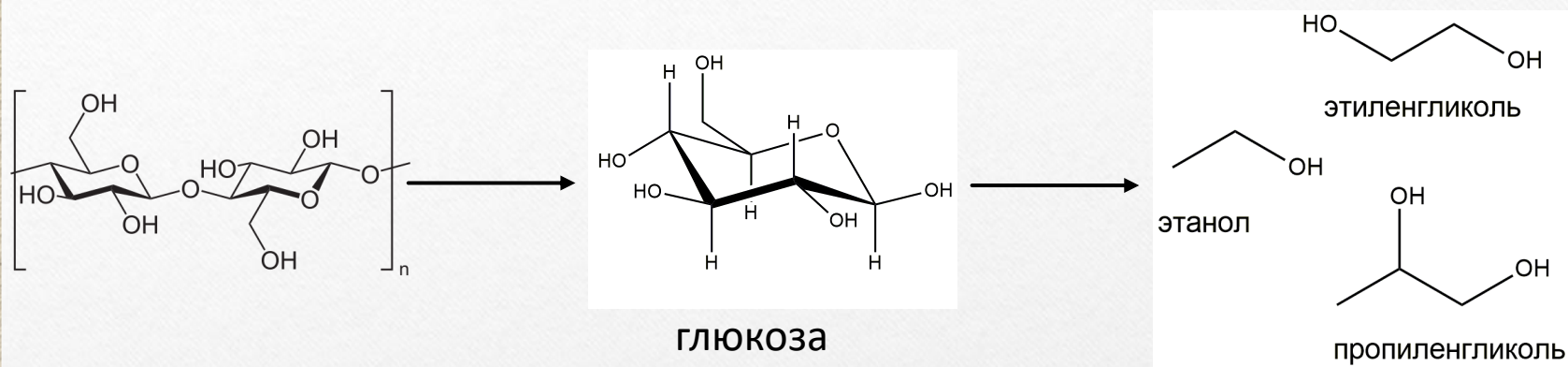


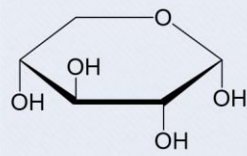
Переработка биосырья из древесных и растительных отходов:
+ снижение выбросов парниковых газов (CO, CO₂ и др.)
+ сохранение ископаемых ресурсов (нефти, природного газа)

Целлюлоза в углеводороды

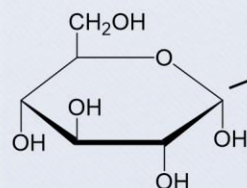


Целлюлоза в спирты

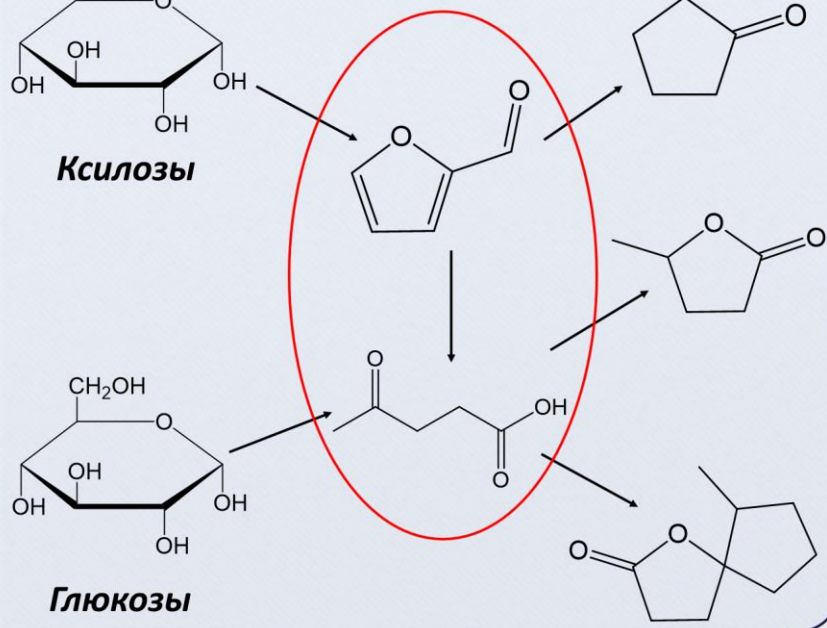




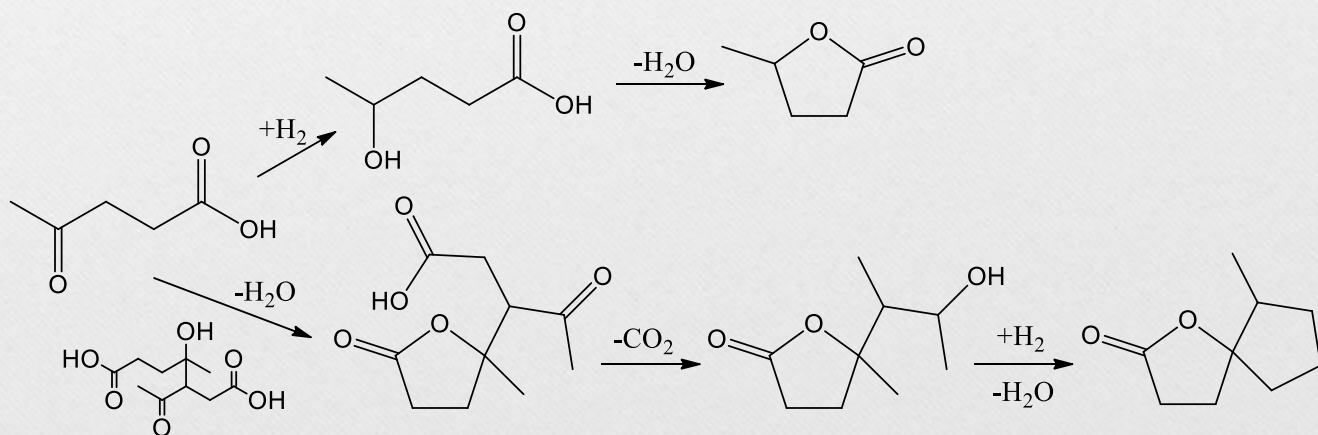
Ксилозы



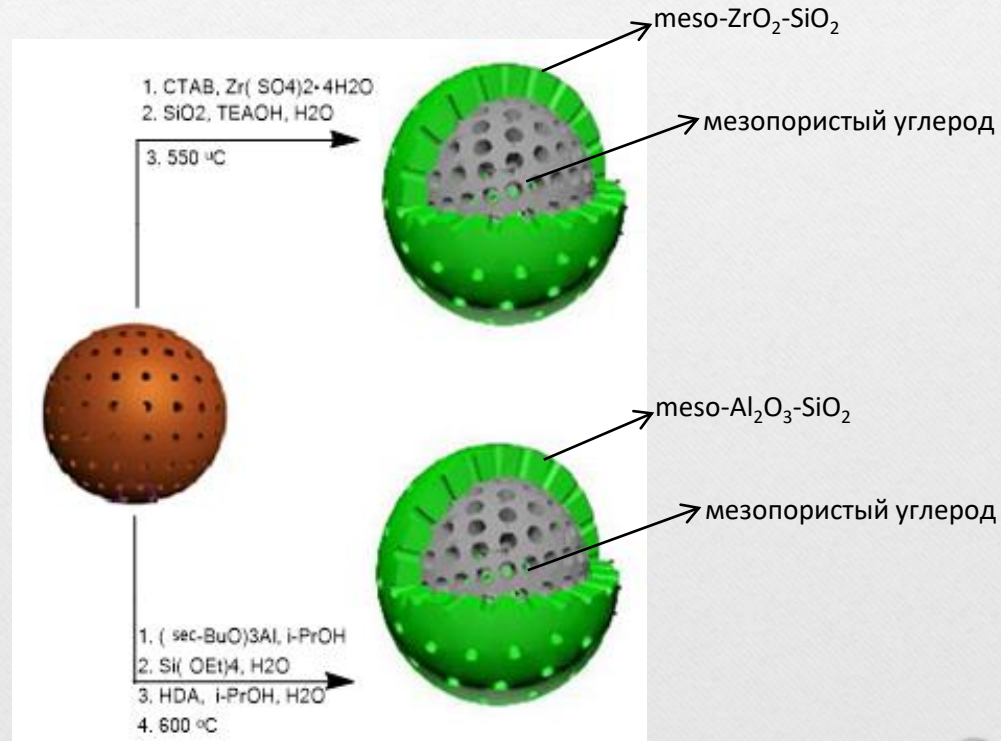
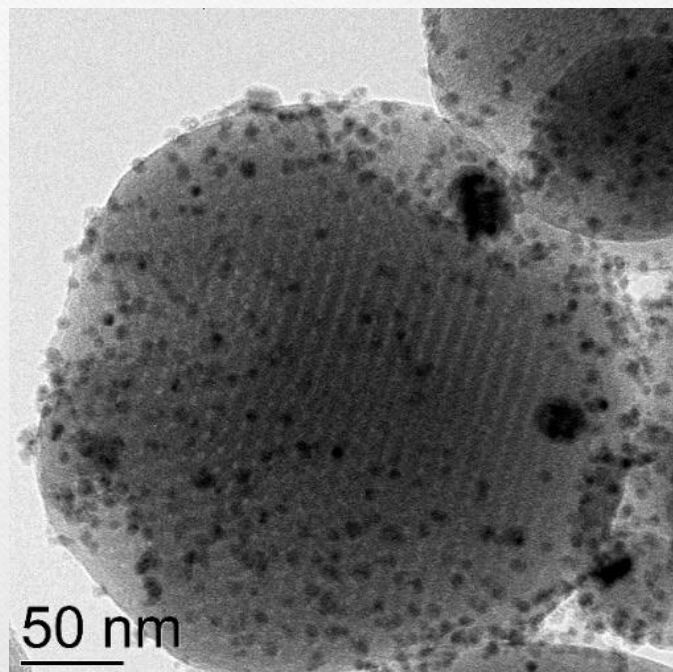
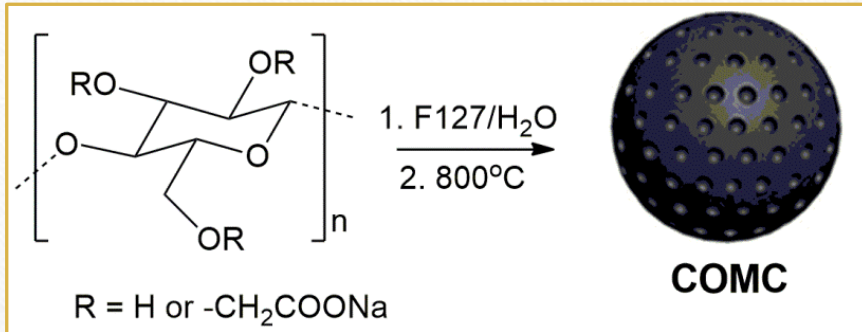
Глюкозы



- Компоненты дизельных и реактивных топлив
- Полимеры
- Смазки
- Пластификаторы
- Зеленые растворители



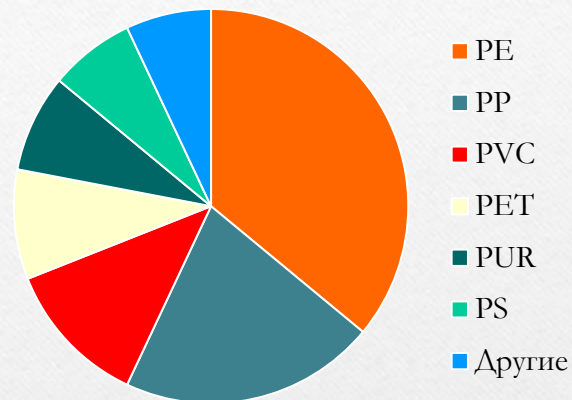
Наносферические углеродные материалы



Получение ценных продуктов из пластиковых отходов на основе полиолефинов

1	2	3	4	5	6	7
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
полиэтилен-терефталат	полиэтилен низкого давления	поливинилхлорид	полиэтилен высокого давления	полипропилен	полистирол	прочие пластики
бутылки для напитков	бутылки для шампуней, бытовой химии	пленка, лотки для конфет, фруктов	канистры, пакеты	фурнитура, игрушки, корпуса	магнитофонные кассеты, игрушки, кейсы CD	например, поликарбонат CD диски, детские бутылочки
						

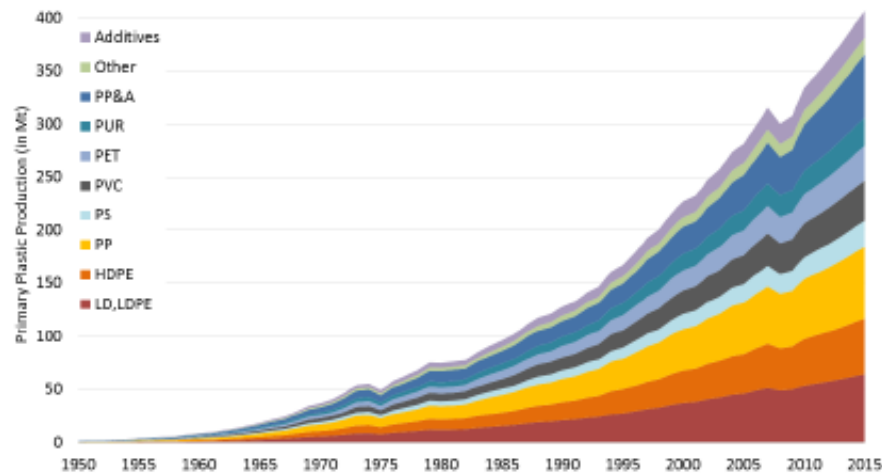
Количество производимых пластиков



Доля полиолефинов 57%

Увеличение производства пластиков за последние 70 лет

Превысит 800 млн тонн до 2050 года



Способы переработки

Механический

- Низкое качество переработанного материала
- Нет возможности перерабатывать загрязненные пластмассы или потоки смешанных пластмасс

Сжигание

- Неполное сгорание
- Образование вдыхаемых твердых частиц и других опасных выбросов: токсичные газы (диоксины, фураны, полициклические ароматические углеводороды) и парниковые газы (CO_2 и NO_x)

Химический

- Органокатализ
- Биокатализ
- Наногетерогенный катализ

Синтез новых материалов – наносферических мезопористых углеродных частиц из возобновляемого источника – крупнотоннажного производного целлюлозы



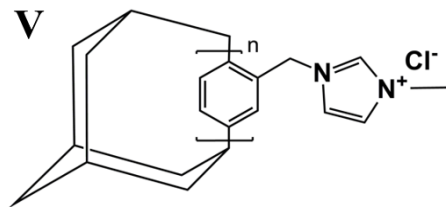
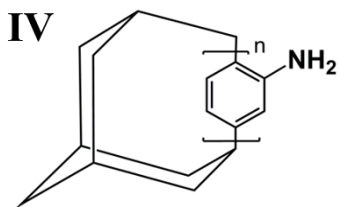
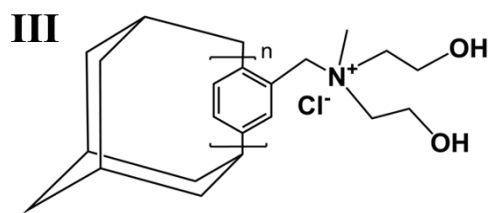
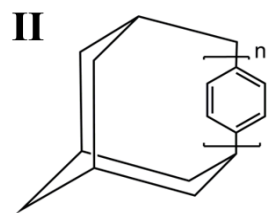
Cat(Ru), 2 МПа H₂, 230 °C

30 мин, н-гексан



Выход по жидким
углеводородам C7-C18
более 70%

Гетерогенные катализаторы на основе модифицированных пористых органических каркасов



Закрепление
дополнительных
лигандов
(фосфинов)

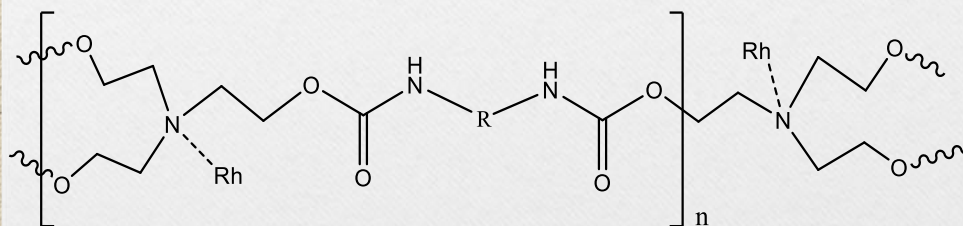
Получение
катализаторов

и др.

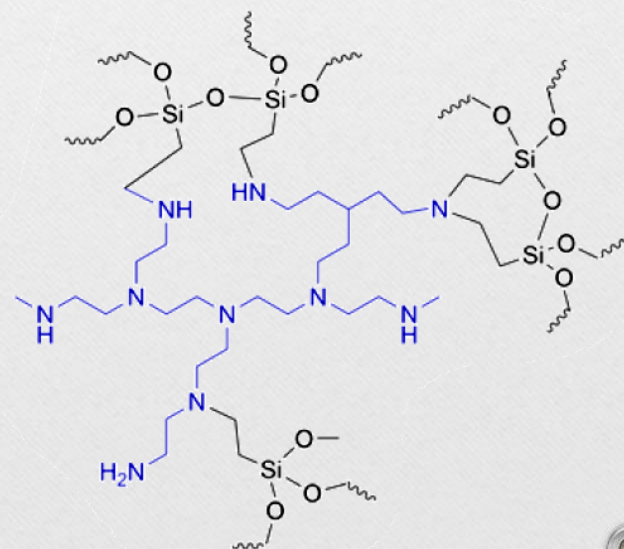
Гетерогенные катализаторы на основе полимерных и гибридных органо-неорганических носителей



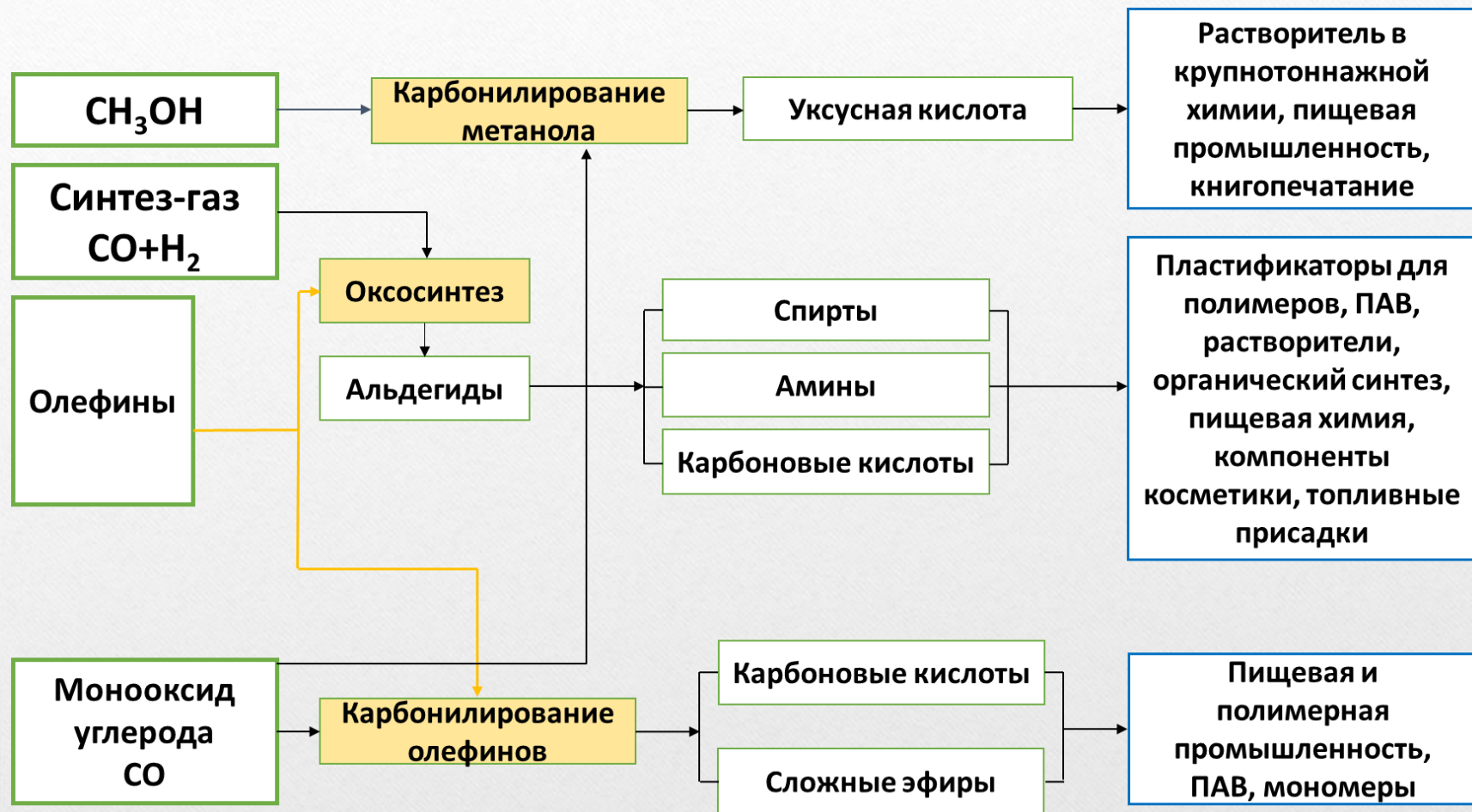
Катализаторы на основе полиуретановых носителей



Катализаторы на основе гибридных органо-неорганических носителей

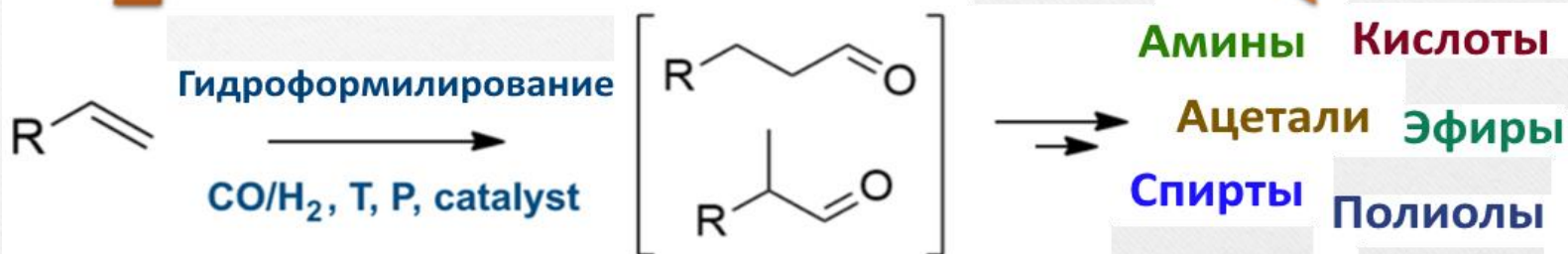


Карбонилирование и гидроформилирование



Тандемные реакции

CO/H₂, T, P, catalyst, co-reagents



Направления работ

- Новые катализаторы и каталитические системы для реакции гидроформилирования;
- Тандемные реакции на основе гидроформилирования;
- Вопросы отделения и рециркуляции катализаторов;
- Вовлечение парниковых газов в переработку с получением ценных соединений;
- Исследование механизмов реакций, строения активных центров, в т.ч., в режимах *in situ* и *operando*

**Гомогенный катализ:
новые системы для
процессов с упрощенным
отделением катализатора
от продуктов**

**Поиск стабильных
гетерогенных
катализаторов**

**Создание тандемных
процессов на основе ГФ с
вовлечением нового типа
сырья, в т.ч.
возобновляемого**

**Использование
альтернативных
источников синтез-газа**



Получение фундаментальных сведений

Оптимизация существующих процессов

Разработка новых процессов с участием СО



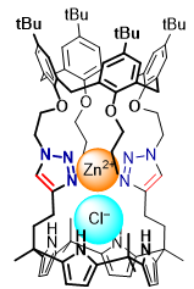
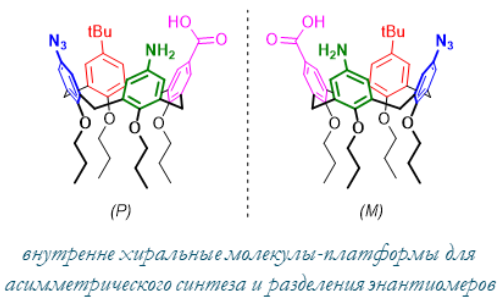
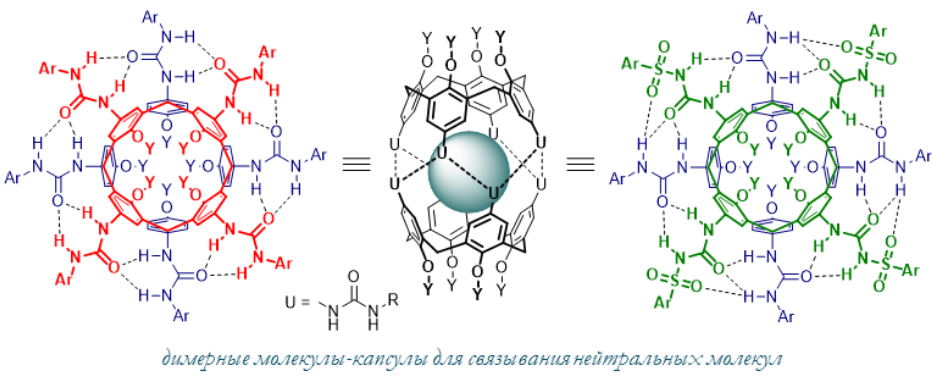
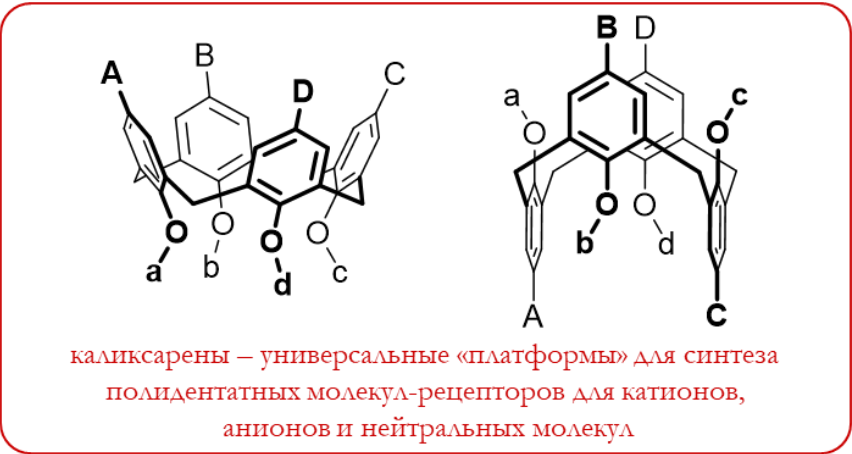
Фотография установки гидроформирования Ningbo Juhua Chemical Technology (Китай) с гетерогенным катализатором $Rh_1/POPs$

Фотография партии гетерогенного катализатора гидроформирования $Rh_1/POPs$

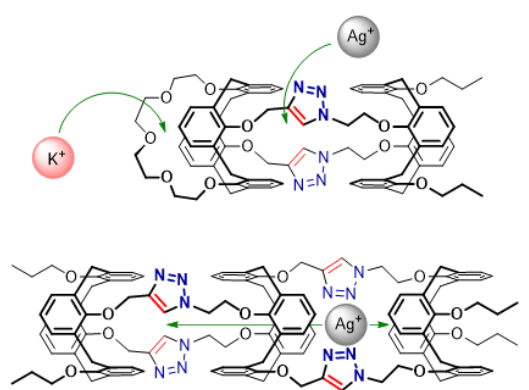


Макроциклические соединения

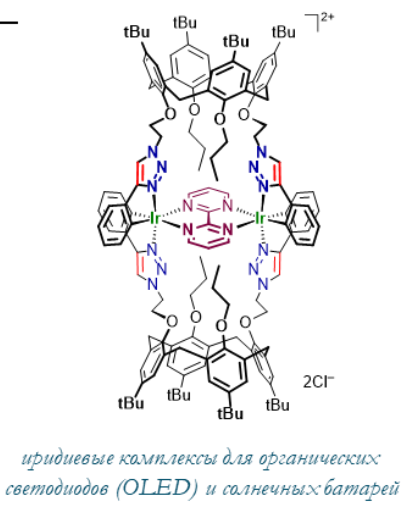
Молекулярные макроциклические рецепторы для супрамолекулярных устройств, нанотехнологий и катализа



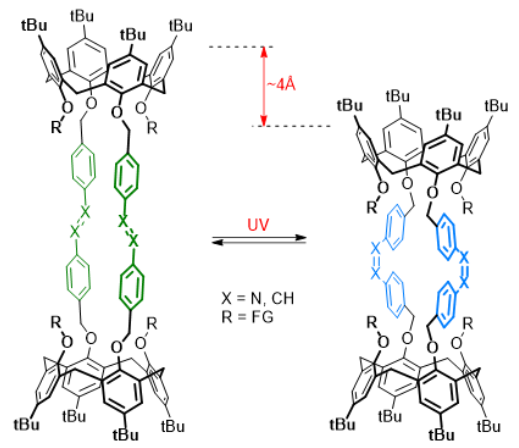
одновременное связывание катиона и аниона



молекулярные переключатели для «включения» и «выключения» лигандов

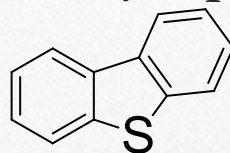


иридиевые комплексы для органических светодиодов (OLED) и солнечных батарей

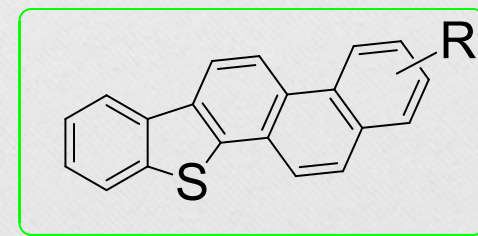
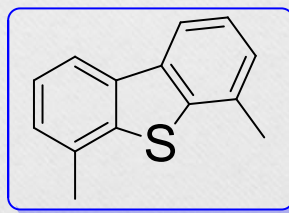
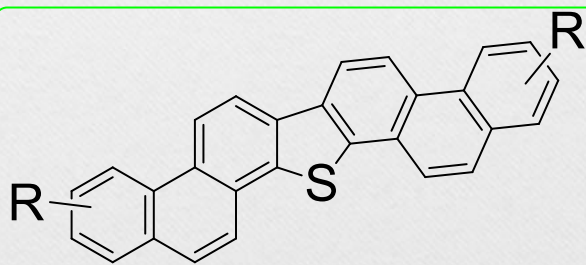
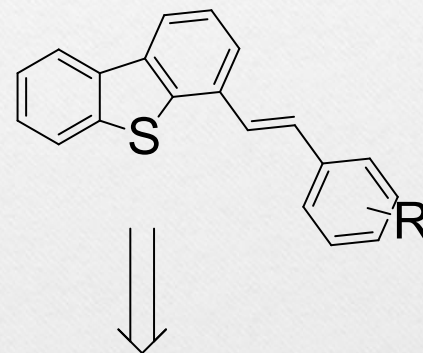
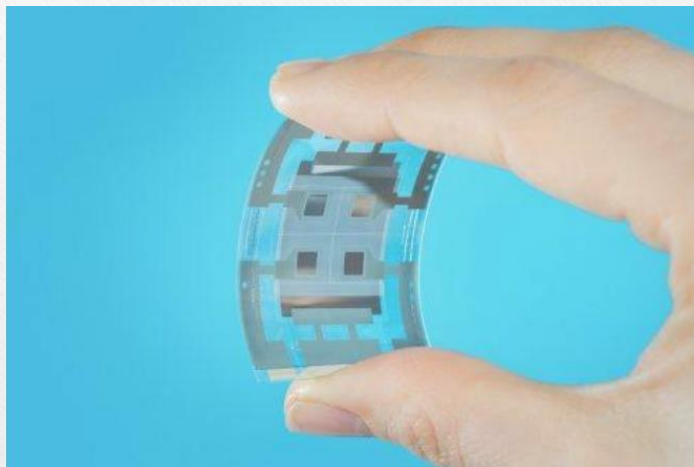
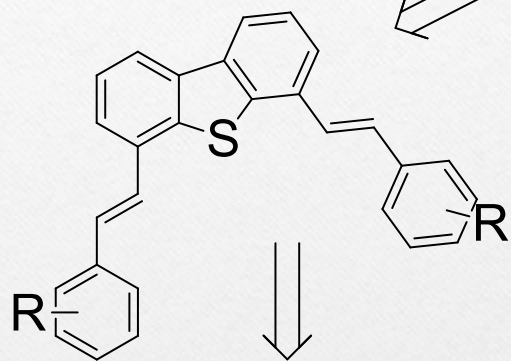


фотоуправляемые структуры, изменяющие размеры под действием света

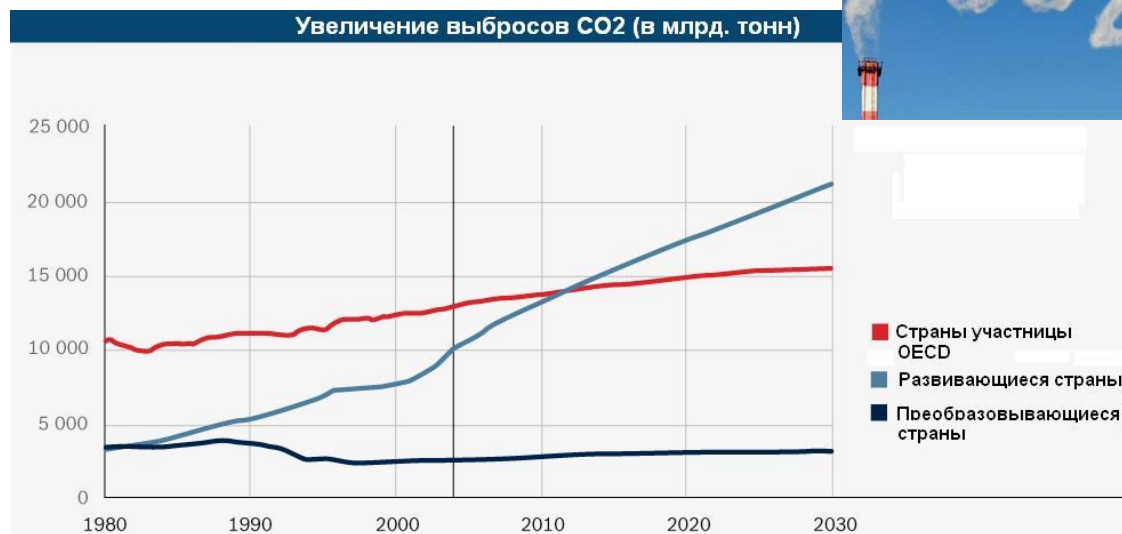
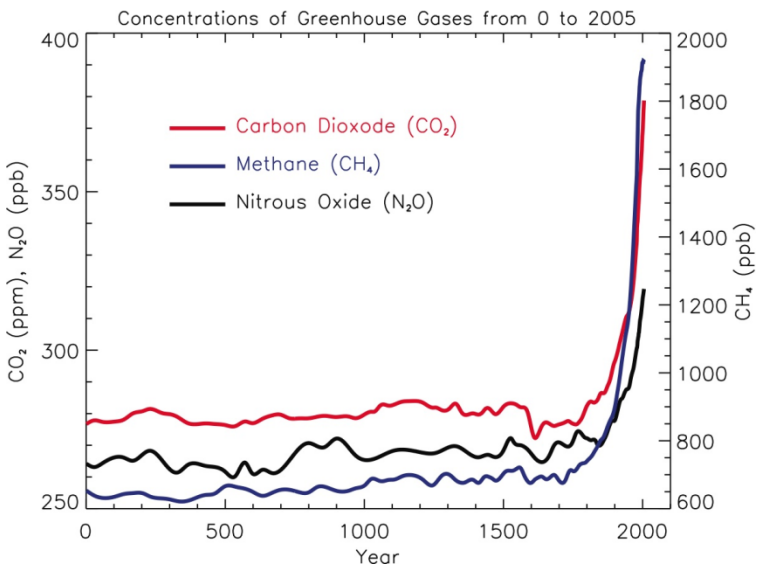
Полициклические серосодержащие соединения — компоненты нефти и молекулярной электроники



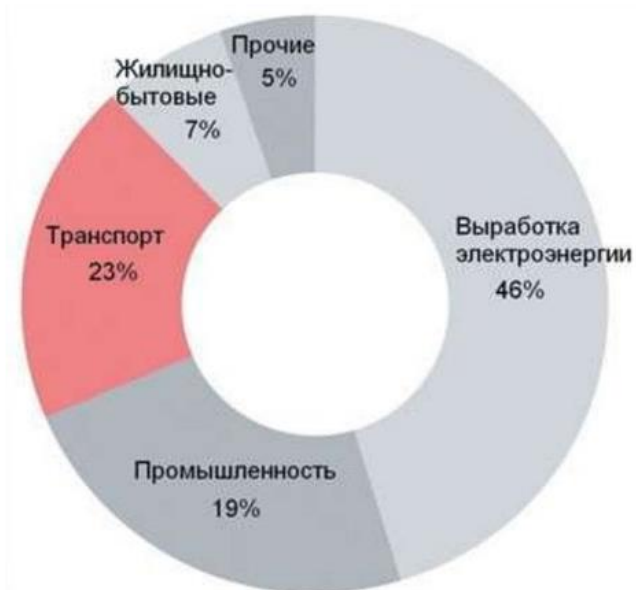
Дибензотиофен



Выбросы углекислого газа



За последние 100 лет концентрация CO₂ в атмосфере увеличилась на 30%



Гидрирование CO₂

CO₂

H₂

МЕТАН

H₂

УГЛЕВОДОРОДЫ

H₂

ОКСИГЕНАТЫ

CH₄

CO + H₂

CH₃OH интермедиат

CO интермедиат

CH₃COOH

+CH₃OH+H₂

+CH₄

+H₂

ДМЭ

CO₂

+H₂

C₂H₅OH

+ДМЭ+H₂

+H₂

C₂+OH

+H₂

C_nH_{2n}

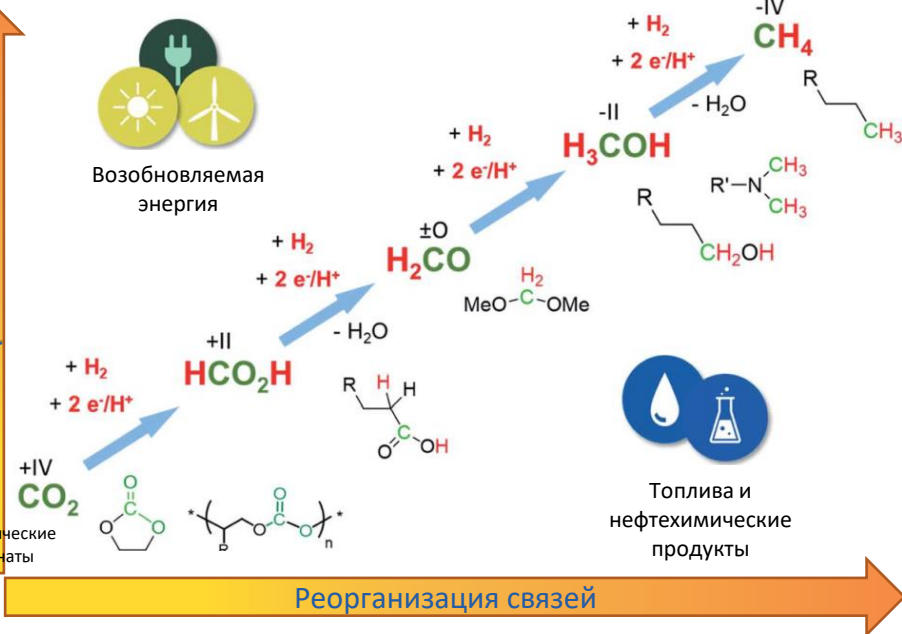
---> C₅-C₁₁



Энергоемкость



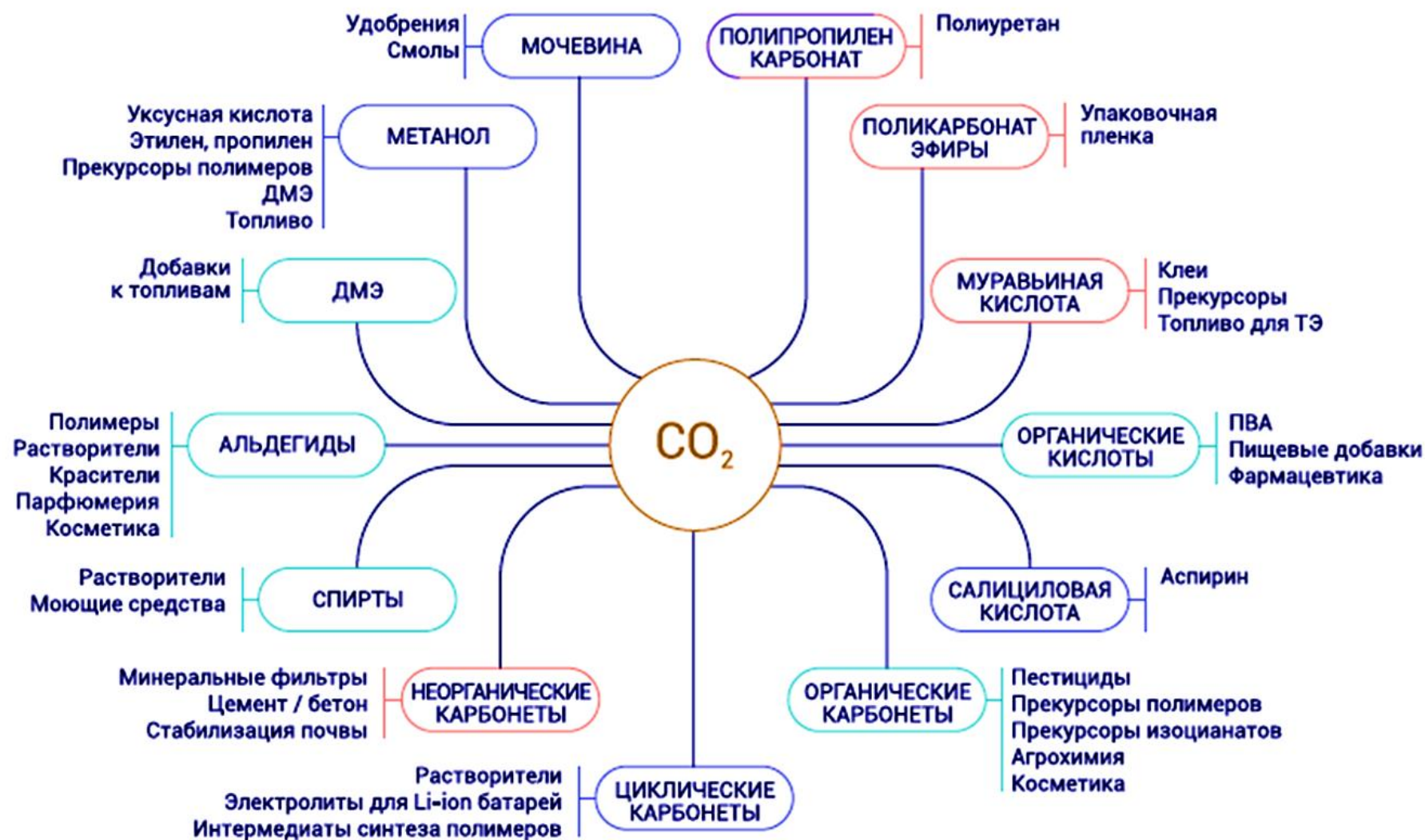
Возобновляемая энергия



Топлива и нефтехимические продукты

Реорганизация связей

Неорганические карбонаты



○ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

○ ПИЛОТНЫЙ УРОВЕНЬ

○ ЛАБОРАТОРНЫЙ УРОВЕНЬ

Получение водорода

Объемы мирового производства водорода: 500–725 млрд м³/год

Требования к качеству*:

Чистота – 99,9%

Содержание азота < 100 ppm

Углеводороды < 2 ppm

Диоксид углерода < 2 ppm

Монооксид углерода < 0.2 ppm

*Применяемый для топливных элементов в соответствии со стандартом ISO 14687-2

95% приходится на водород, получаемый
путем переработки ископаемых топлив
(природный газ, уголь, нефть)



Увеличение выбросов CO₂

Очистка с целью получения водорода
высокой чистоты

Получение смеси, обогащенной водородом



Очистка и выделение чистого водорода



Ожижение или сжатие

Потребление при производстве

Эффективная и безопасная
логистика транспортировки и
хранения

Жидкие органические носители водорода

