



**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН**



## **Круглый стол**

Комитета Государственной Думы по энергетике на тему:

# **«Добыча метана из угольных пластов: проблемы и перспективы развития»**

**«Разработка научных основ и технологий комплексной переработки  
угольного метана Кузбасса в полезные химические продукты  
учитывая концентрационные особенности их состава»**

Проект РНФ № 22-13-20040

Академик РАН Исмагилов З.Р.

Научный руководитель ФИЦ УУХ СО РАН

23 мая 2023

Москва

# ФИЦ УУХ СО РАН



В зарубежной литературе множество публикаций и патентов по сбору и рациональной утилизации шахтного метана химическими методами

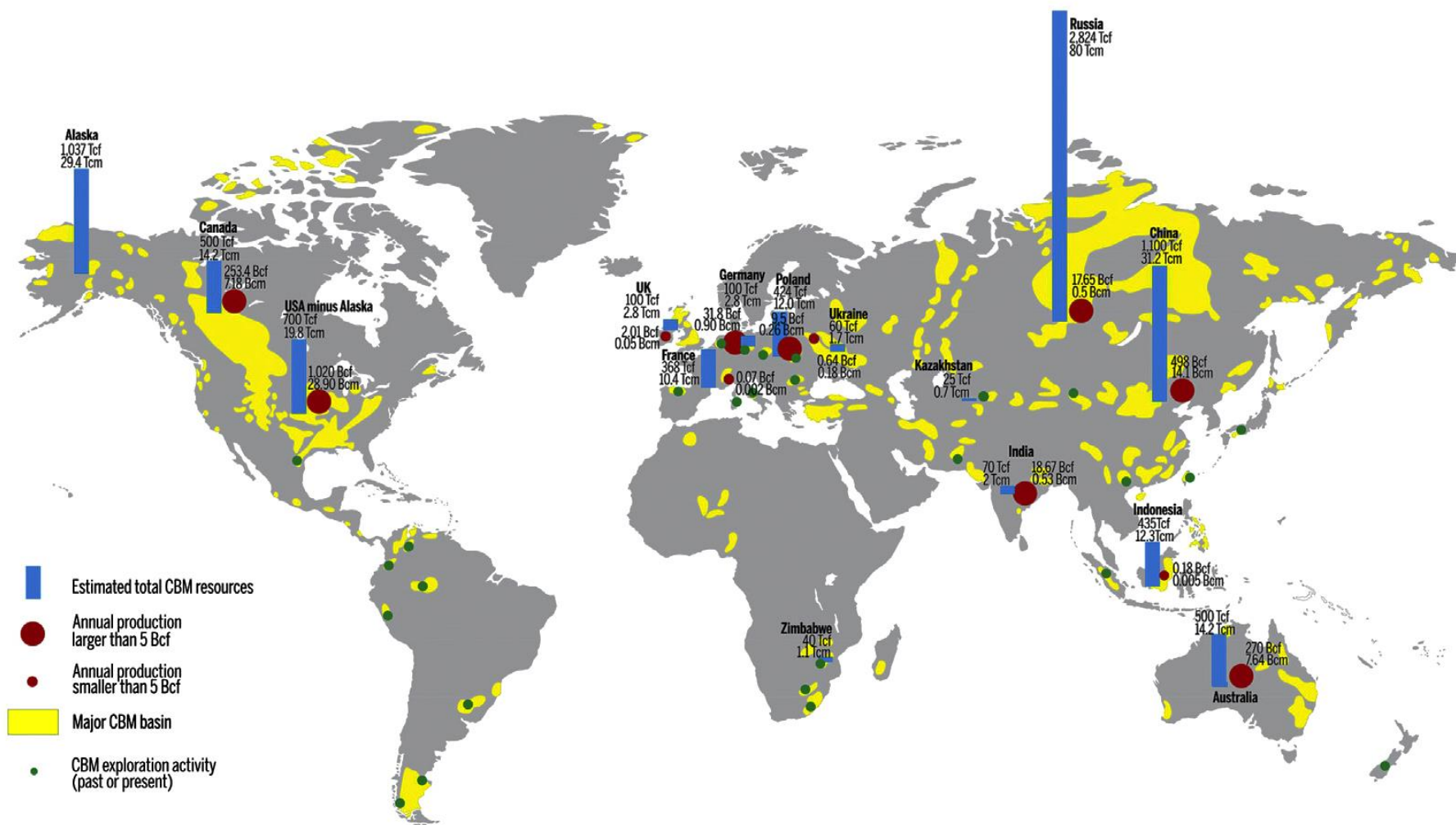
- Coal mine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction  
*International Journal of Coal Geology*
- Methane separation and capture from nitrogen rich gases by selective adsorption in microporous Materials: A review
- Vacuum pressure swing adsorption process for coalbed methane enrichment

## Основная схема пористой структуры углей

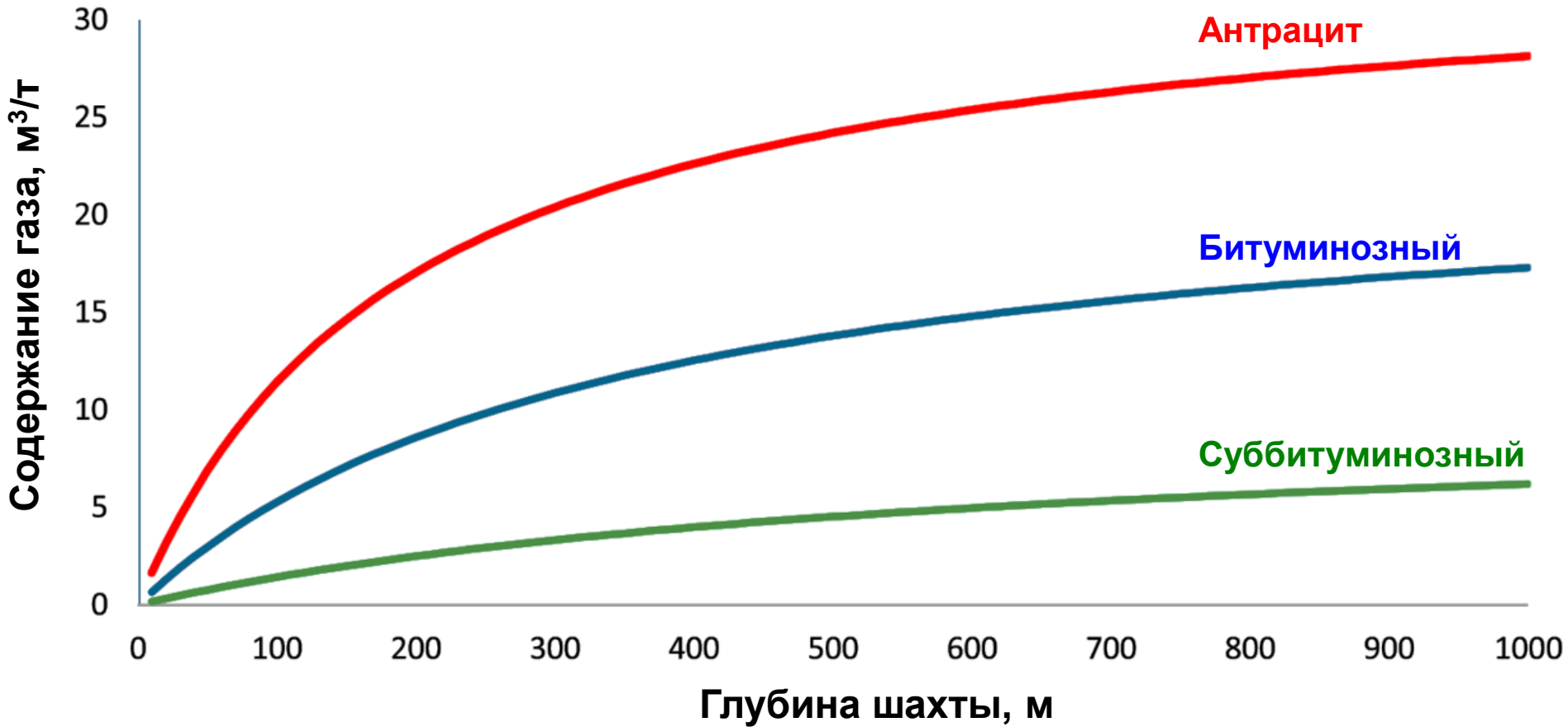


Микропоры  $d < 2$  нм  
Мезопоры  $2 \text{ нм} < d < 50$  нм  
Макропоры  $d > 50$  нм

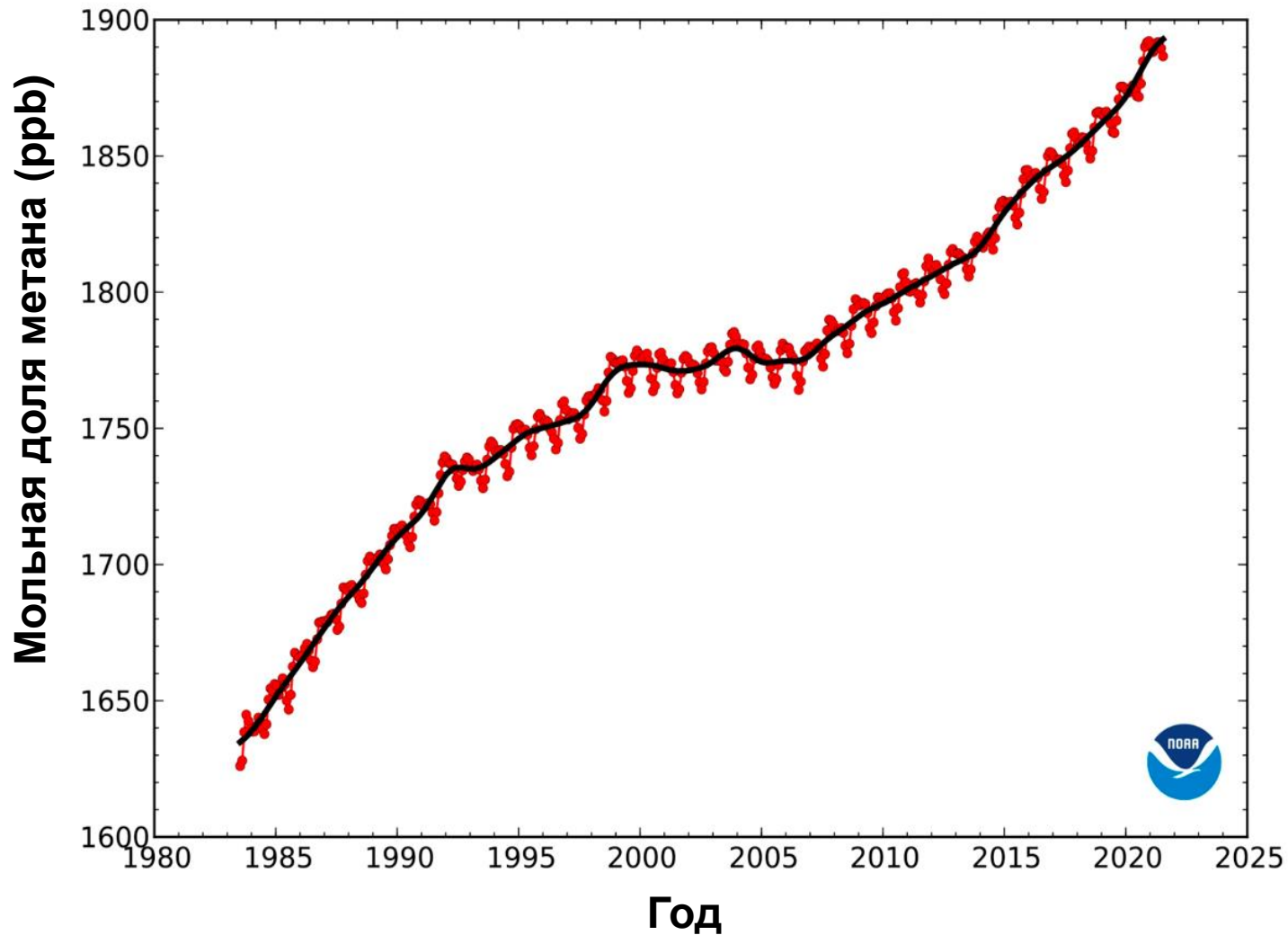
# Ресурсы метана угольных пластов и объемы его добычи



# Зависимость газоносности угля от его марки и глубины залегания

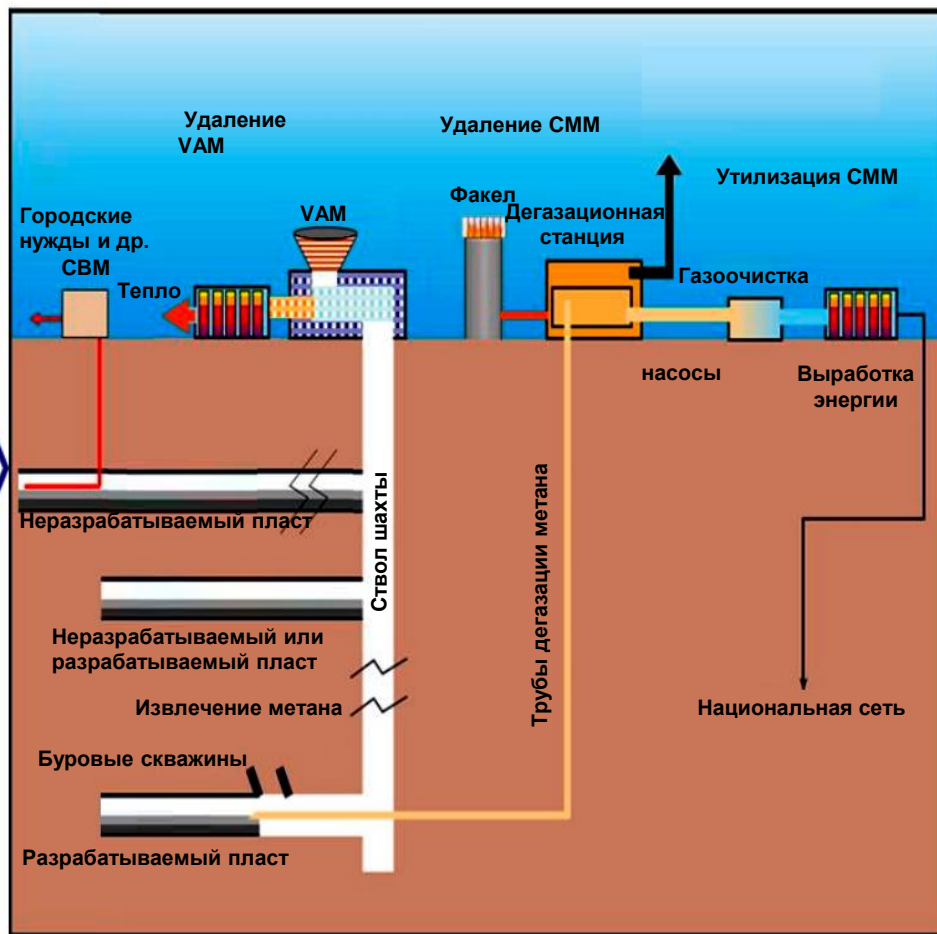


## Ежегодное изменение концентрации метана в атмосфере



## Иллюстрация принципов добычи угля с практически нулевыми выбросами по метану

- Максимизировать улавливание при дегазации
- Оптимизировать утилизацию метана угольных шахт (СММ), уловленного при дегазации
- Термическое удаление избыточного СММ
- Удаление метана в вентиляционном воздухе (VAM)
- Использование отработанного тепла





# Способы утилизации VAM

Вентиляционный метан (VAM)

Воздух на сжигание

- Горелки котельных
- Стандартные газовые турбины
- Газовые двигатели
- Вращающиеся печи

Сжигание в химическом цикле (СХЦ)

Термические методы

- Термический противоточный реактор
- Рекуперативные газовые турбины

Каталитические методы

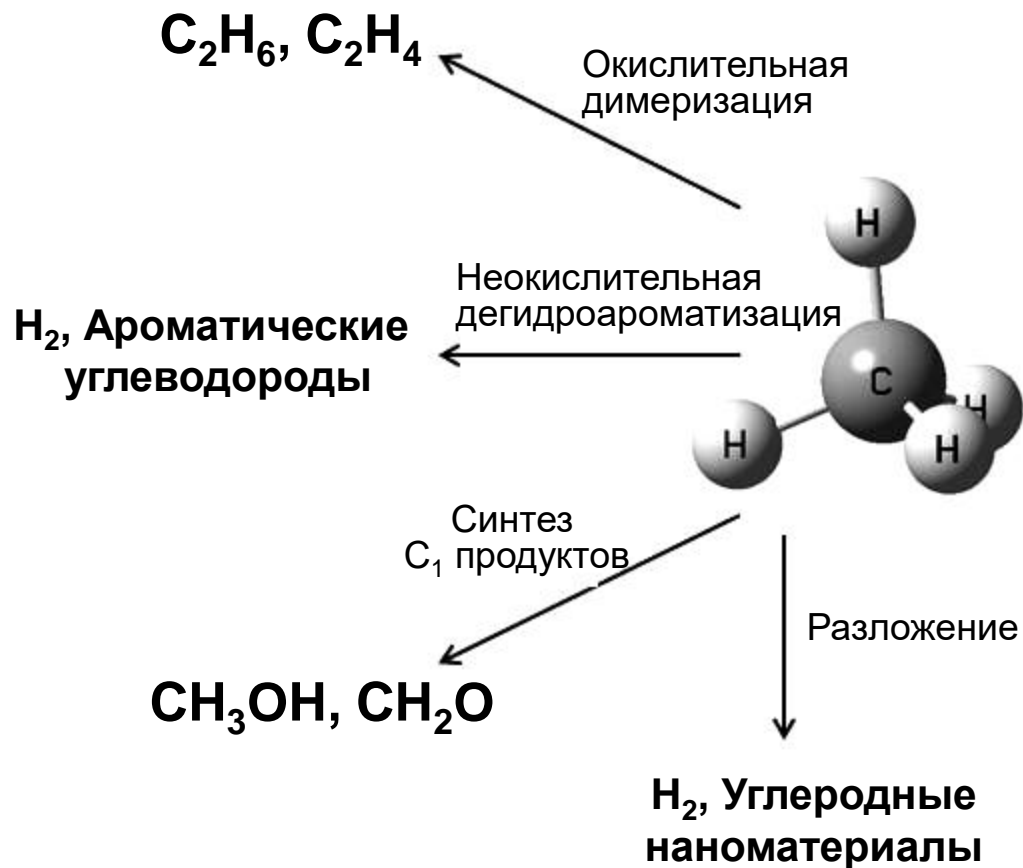
- Каталитический противоточный реактор
- Каталитическая горелка с блочным катализатором
- Каталитическая газовая турбина на бедной смеси

Концентраторы

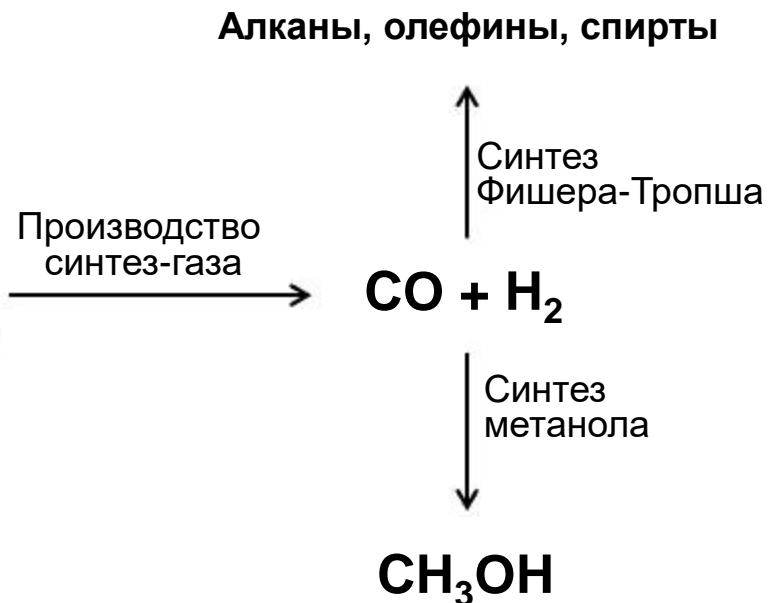
- Вихревые трубы
- Кипящие слои
- Клатрат гидраты
- Адсорбция с переменным давлением-вакуумом
- Сотовые углеродные блоки

# Методы прямой и непрямой конверсии метана в полезные продукты

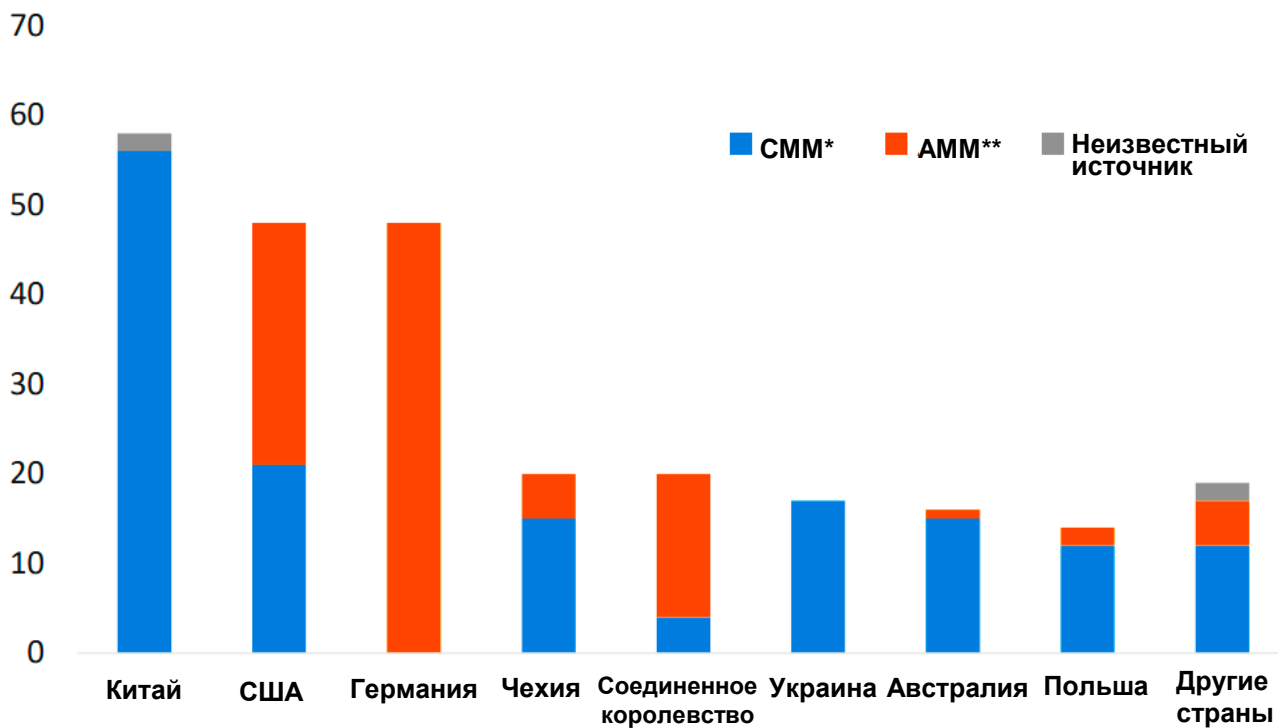
## ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ



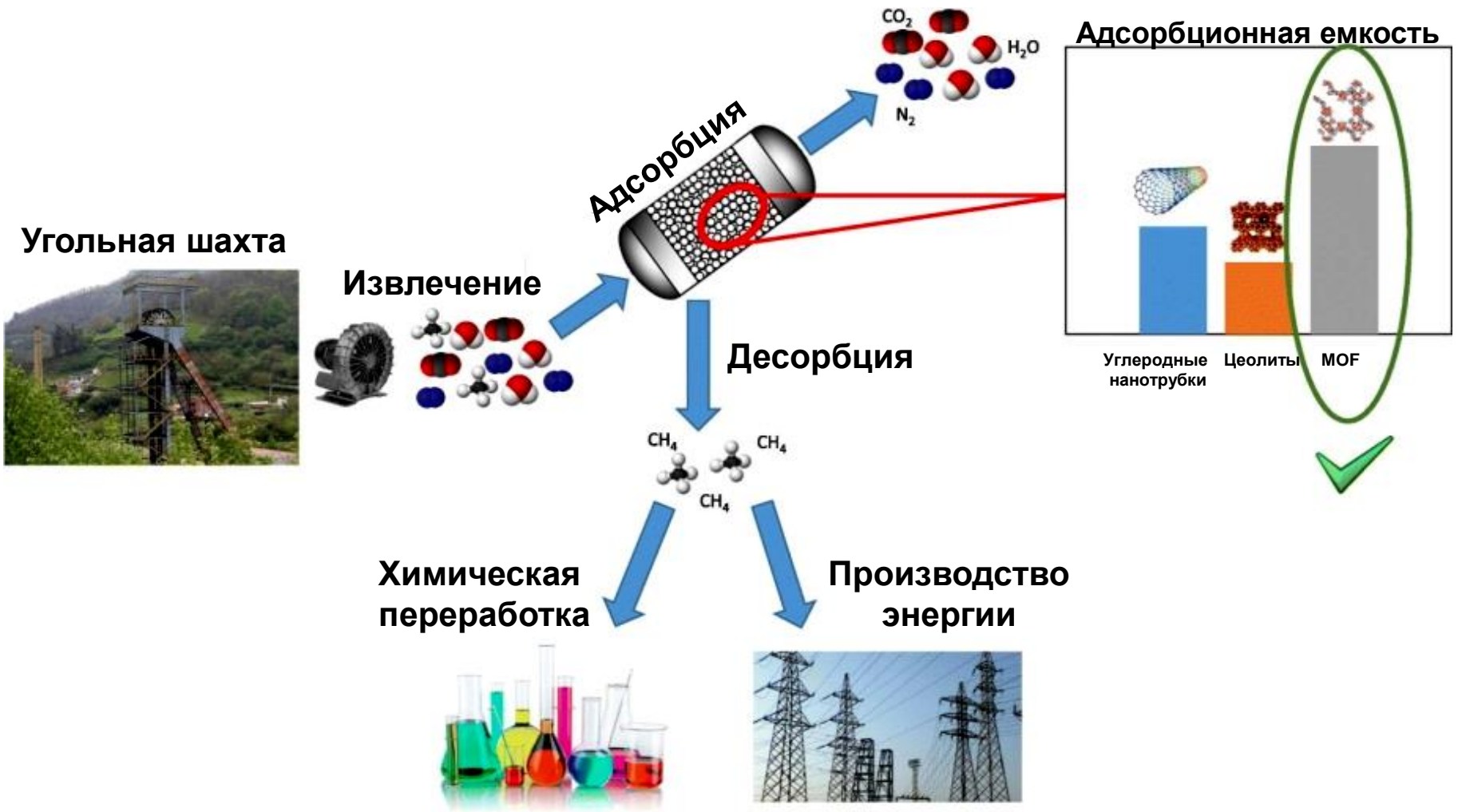
## НЕПРЯМЫЕ МЕТОДЫ



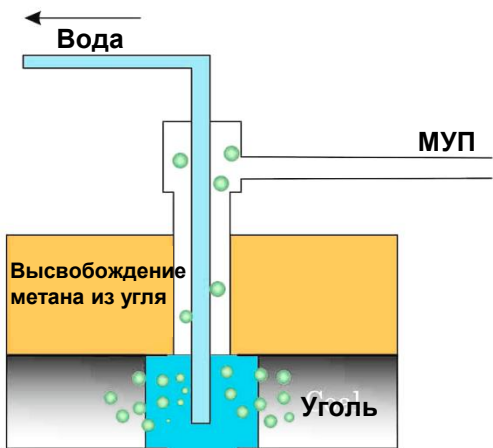
# Количество проектов по утилизации метана угольной отрасли для разных стран мира и типы проектов по утилизации шахтного/дегазационного метана СММ



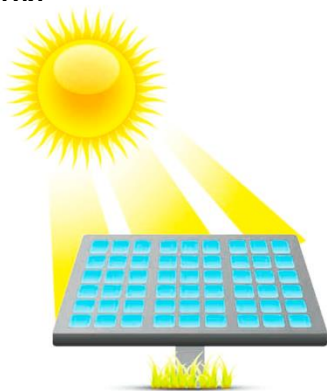
# Переработка VAM: концентрирование метана из разбавленных потоков систем вентиляции шахт



# Схематическое изображение получения водорода из метана угольных пластов с использованием плазмы RGA (rotating gliding arc (RGA) plasma)

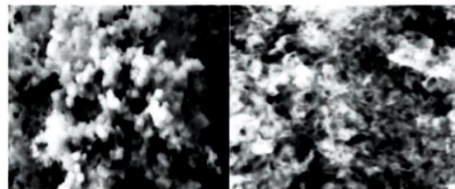
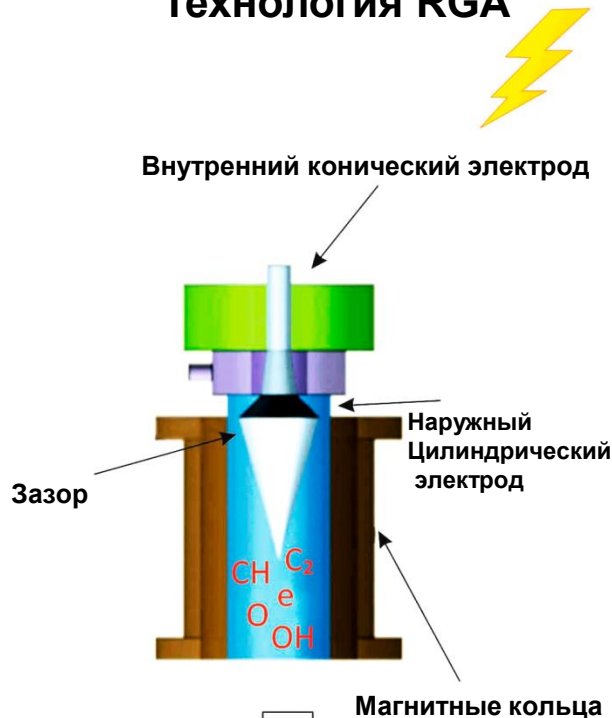


Энергия

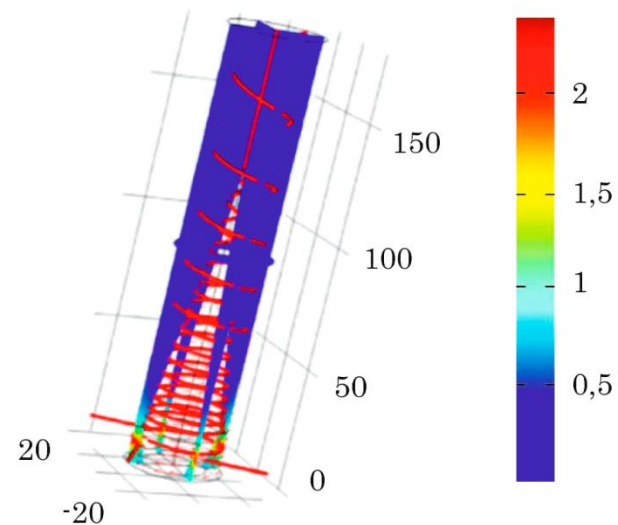


Устойчивая энергетика

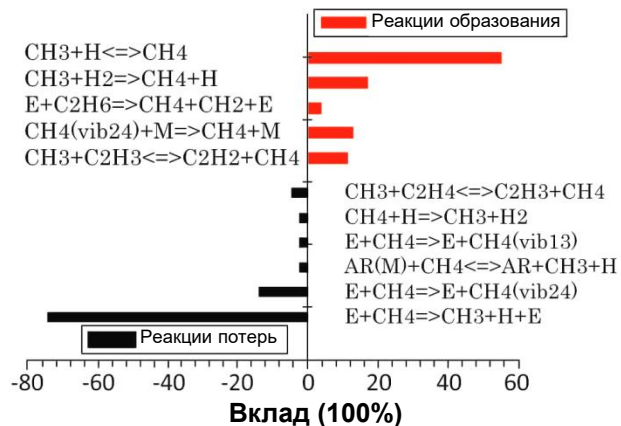
## Технология RGA



Образовавшиеся углеродные продукты

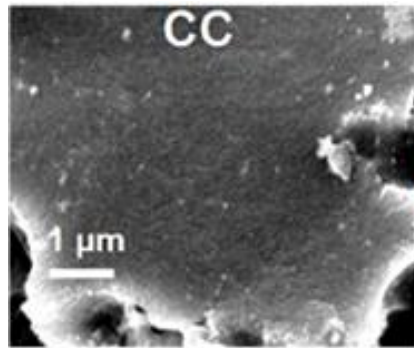


## Плазмофизический процесс



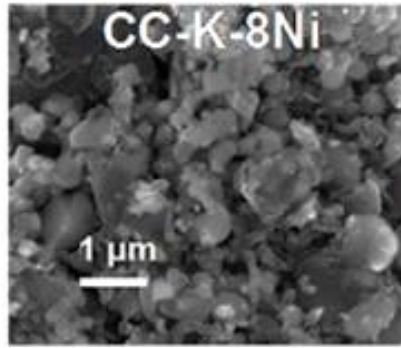
Плазмохимическая реакция

# Получение водорода путем разложения метана на никель-углеродных катализаторах, полученных in situ при паровой газификации полукокса

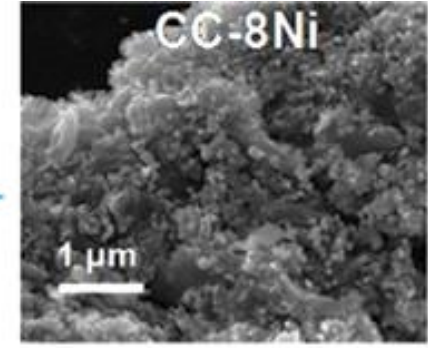


Полукок

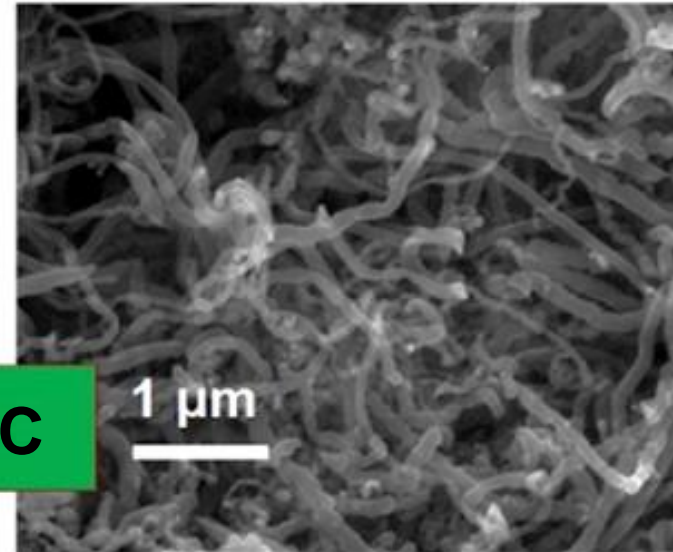
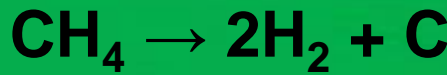
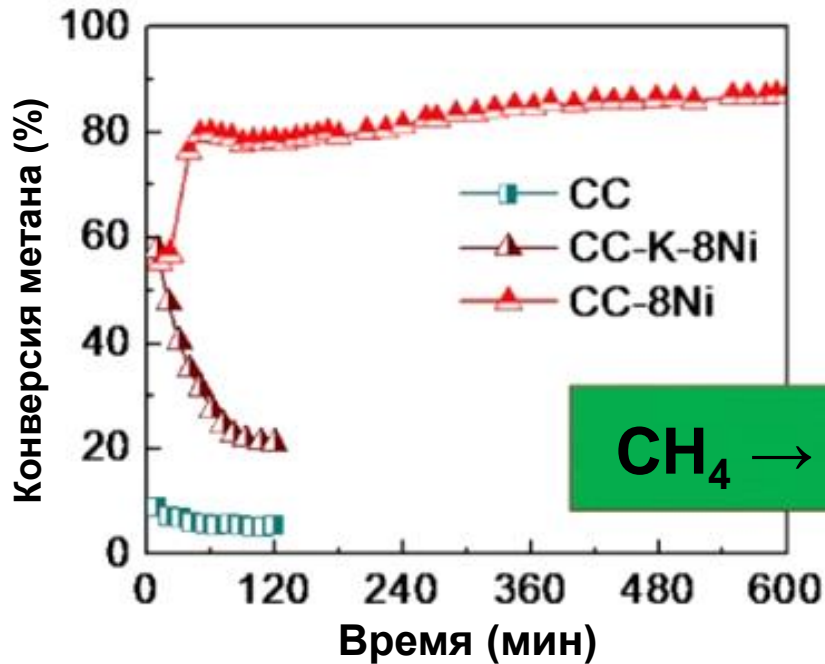
+NiO  
+K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
Частичная  
газификация паром



Остаток  
после газификации

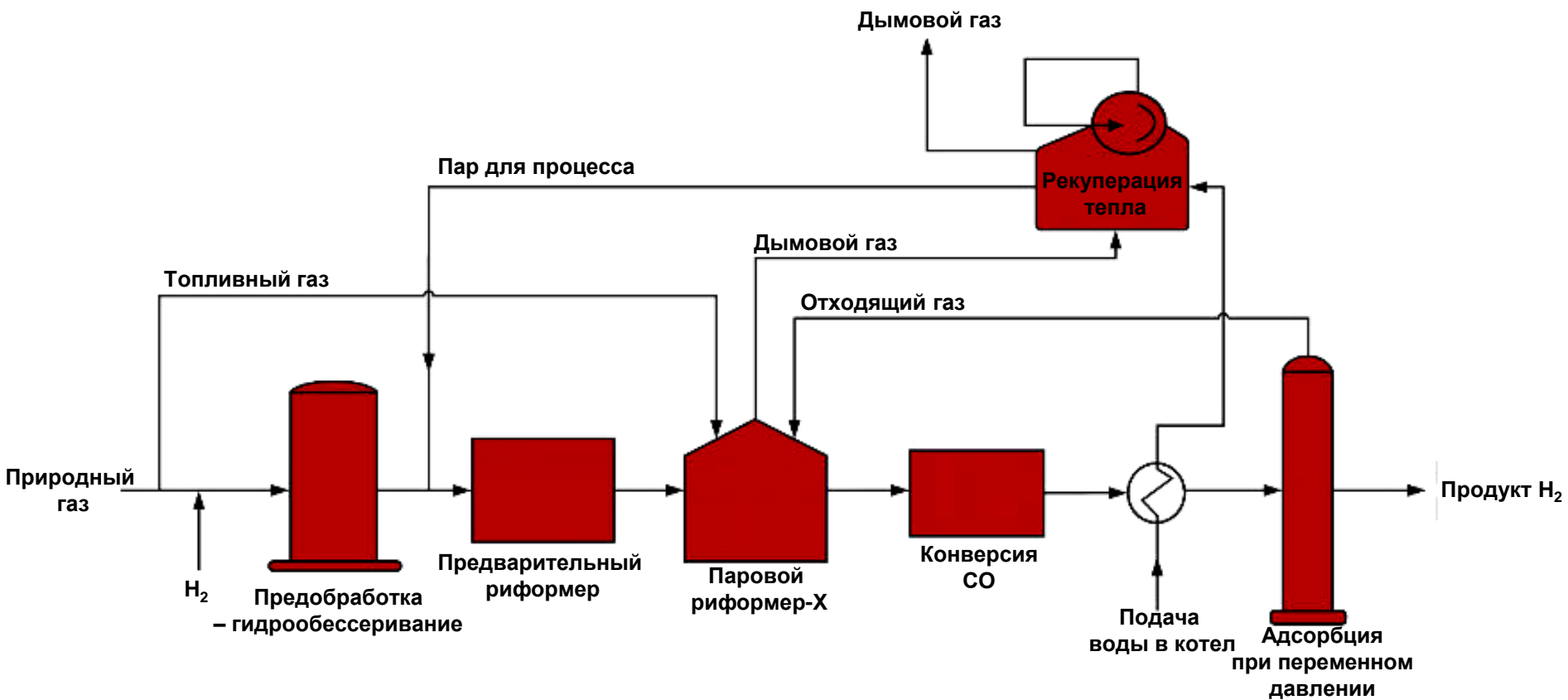


Катализатор Ni/углерод

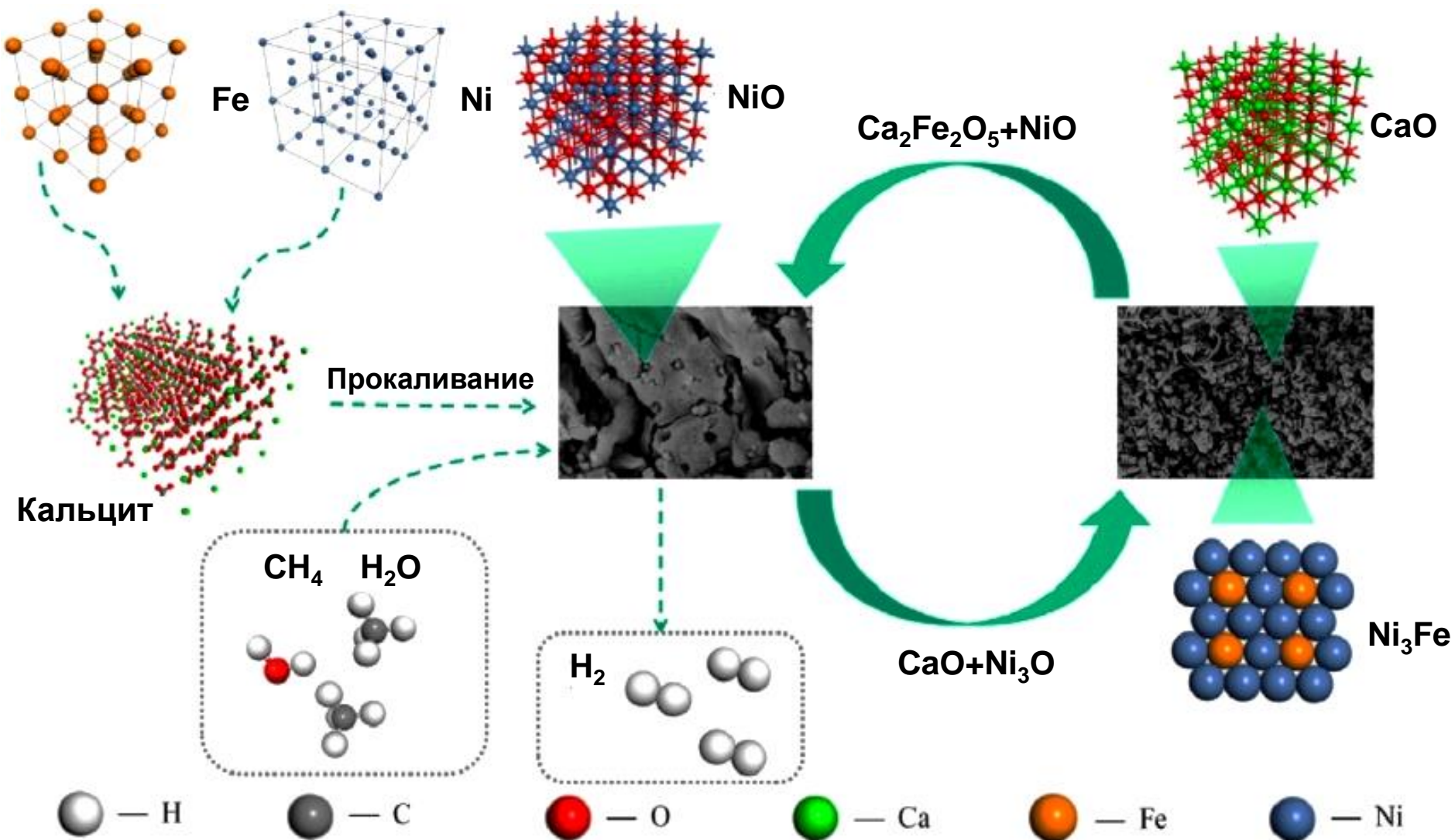


Углеродные материалы,  
образовавшиеся на CC-8Ni

# Производство водорода по технологии паровой конверсии метана без отвода пара SMR-X™



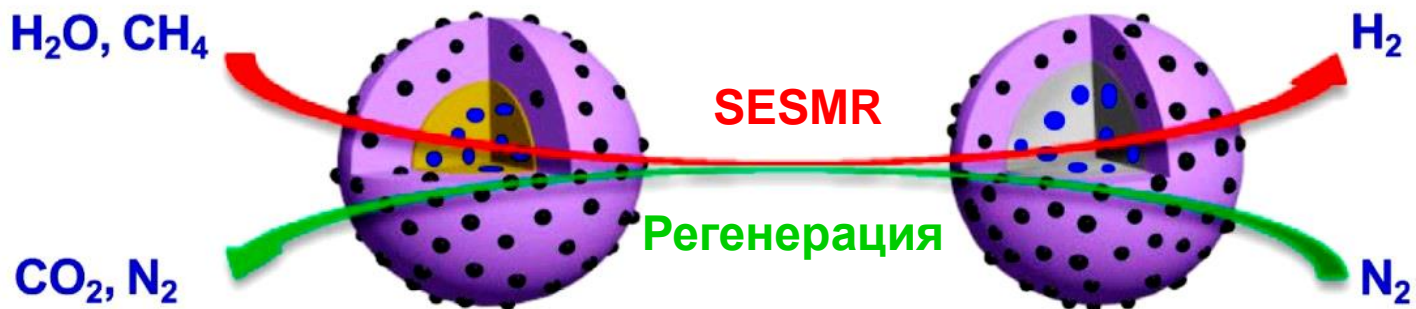
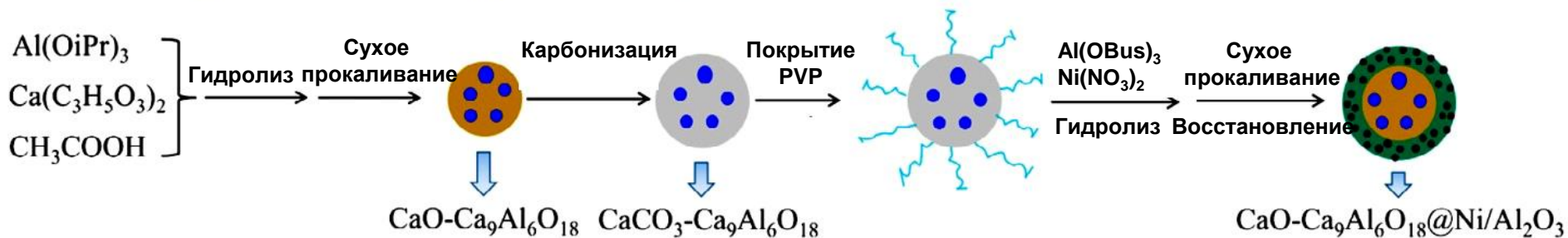
# Схема процесса получения водорода путем паровой конверсии метана в режиме химического циклирования



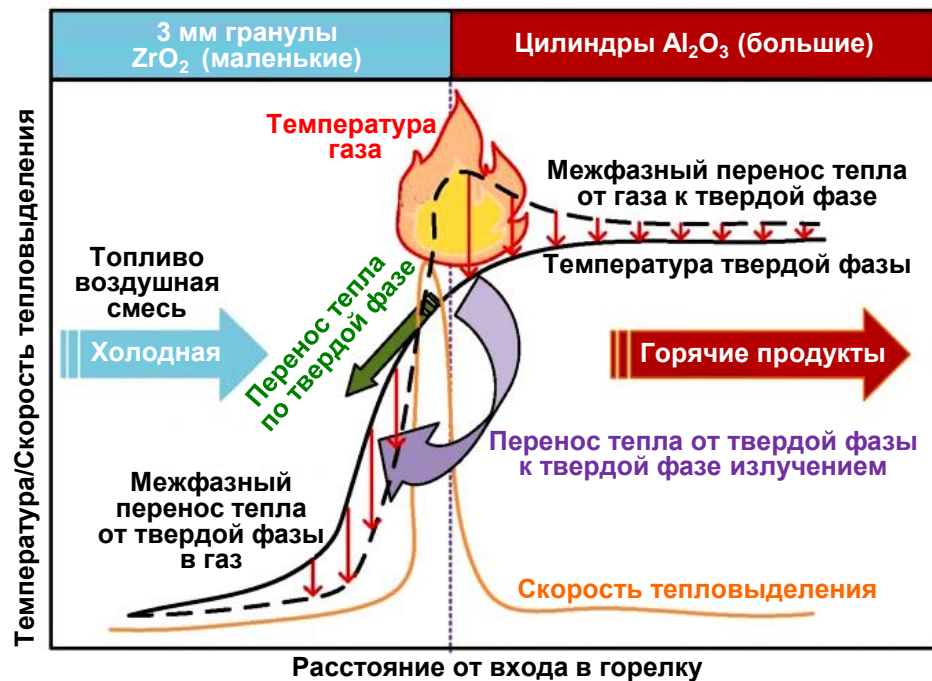
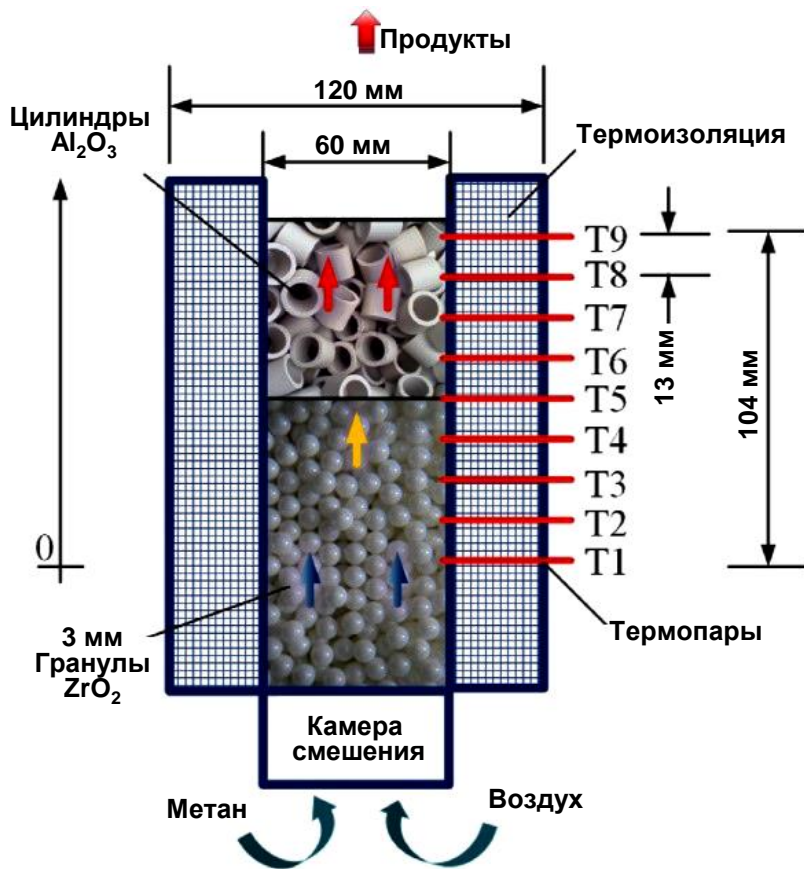


# Схема получения бифункционального материала и его принцип действия в процессе получения водорода по реакции парового риформинга метана

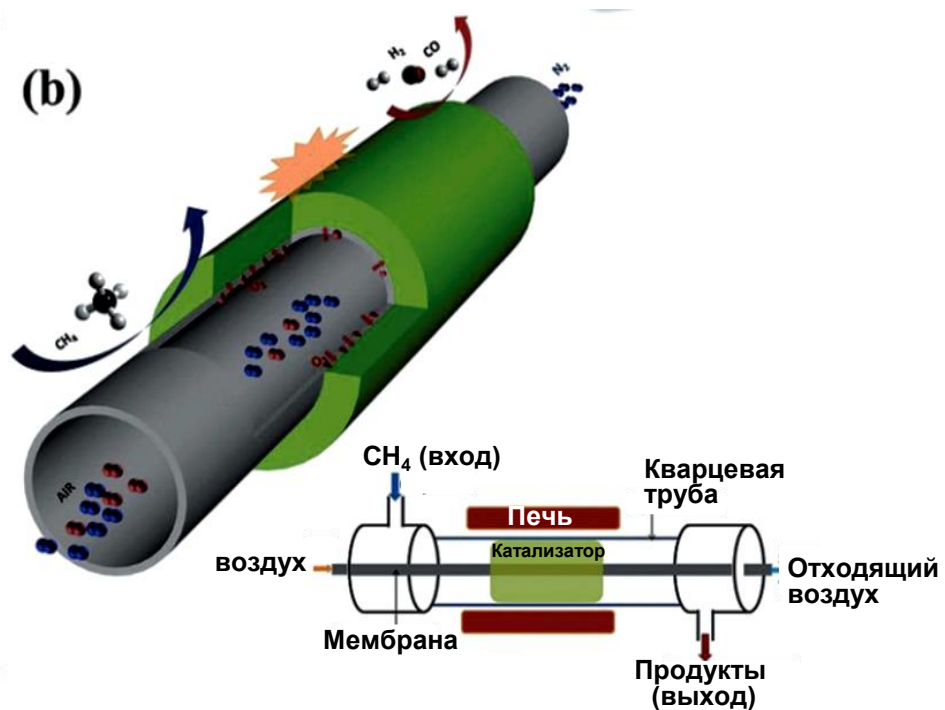
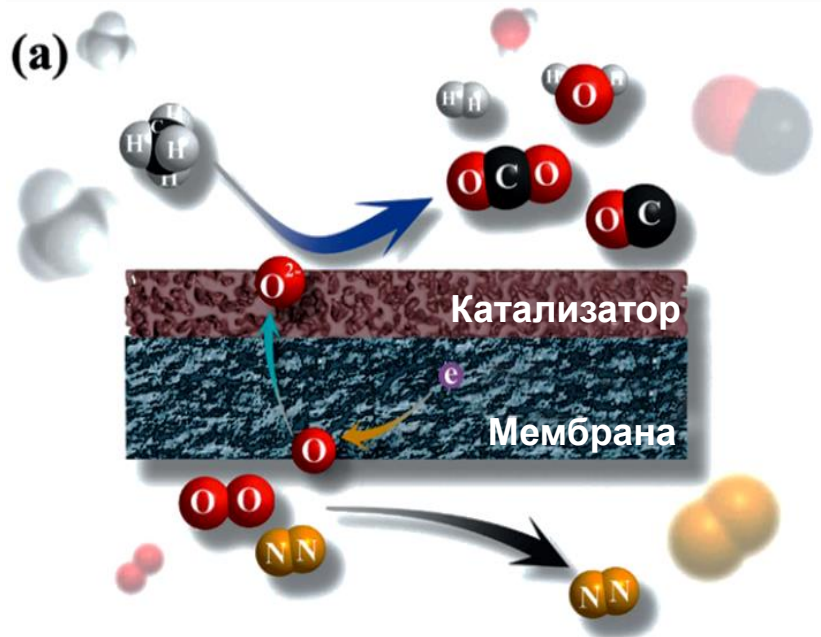
● : CaO; ● : CaCO<sub>3</sub>; ● : Ca<sub>9</sub>Al<sub>6</sub>O<sub>18</sub>; ● : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; ● : Ni



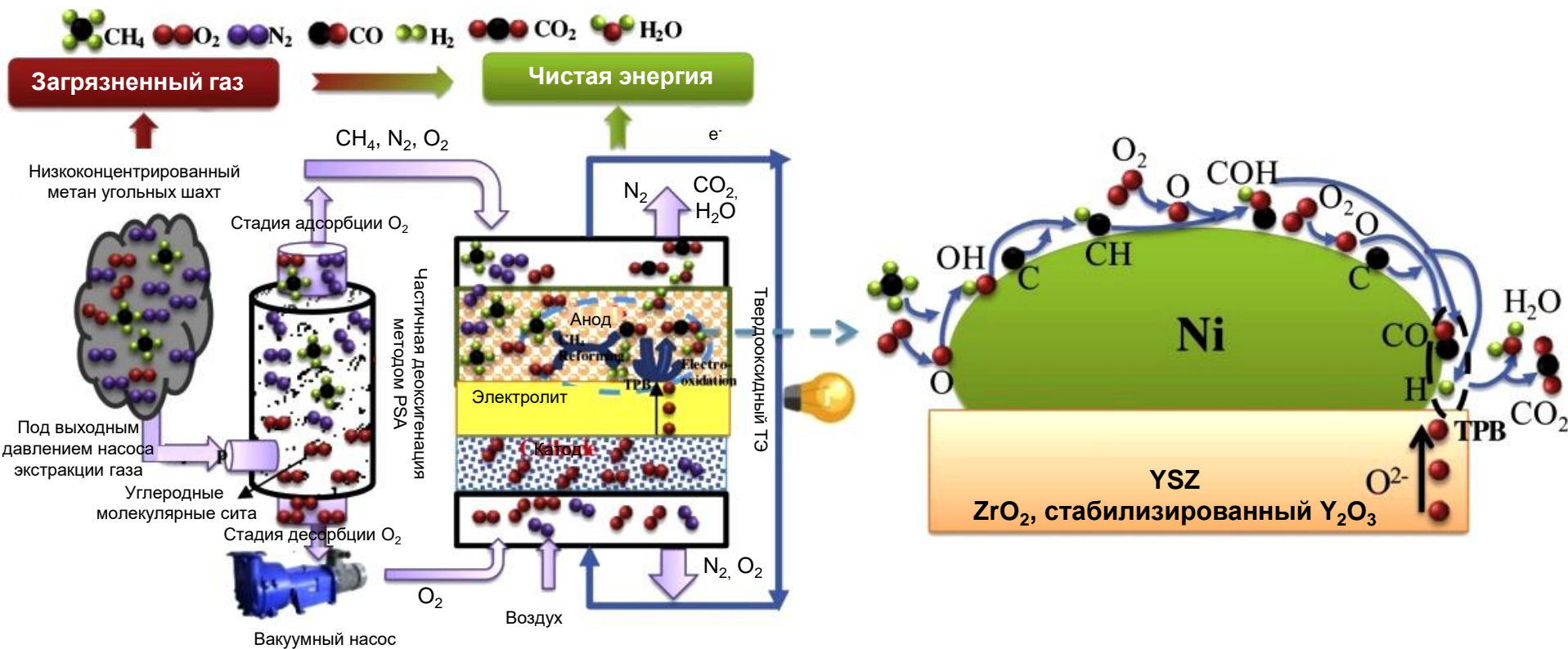
# Схема двухслойного реактора (а) для конверсии метановоздушной смеси в водород-содержащий газ и принцип его работы (б)



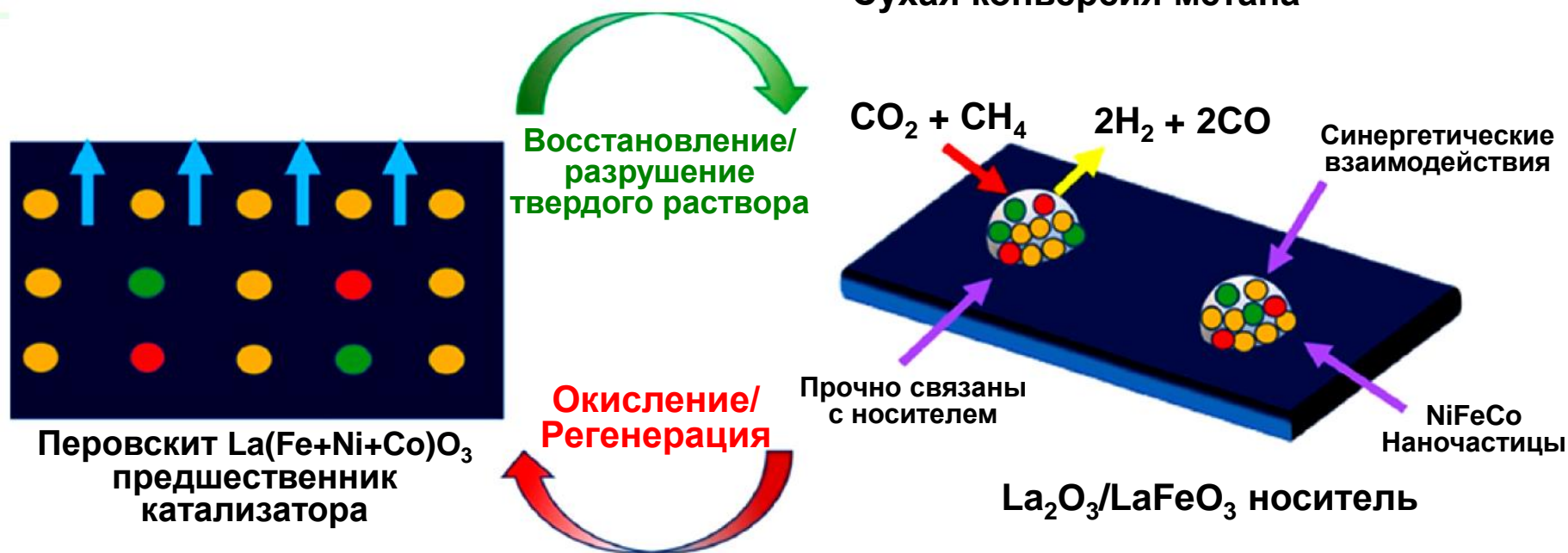
# Устройство мембранного реактора для парциального окисления метана



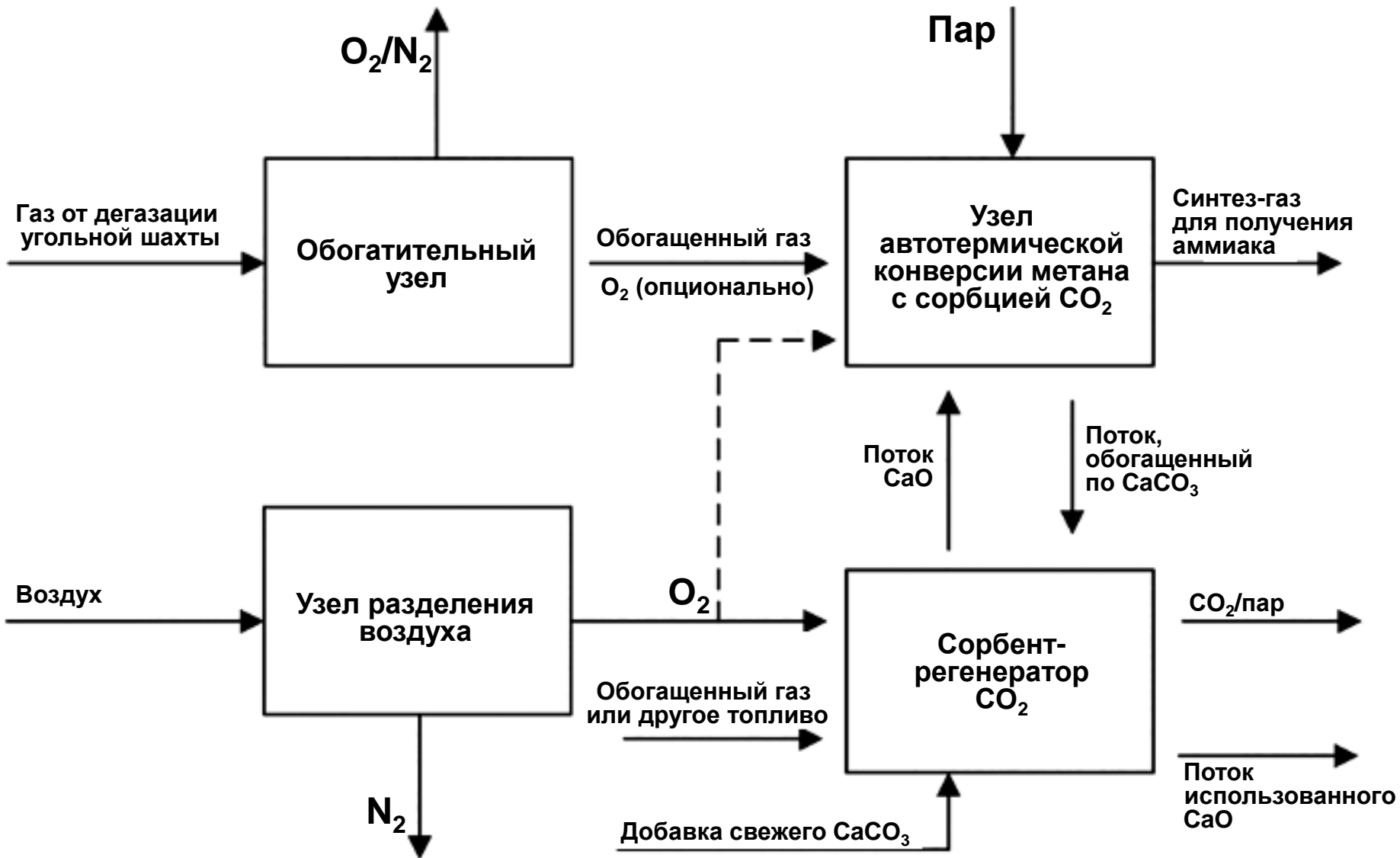
# Схема утилизации метановоздушной смеси (СММ) с применением ТОТЭ



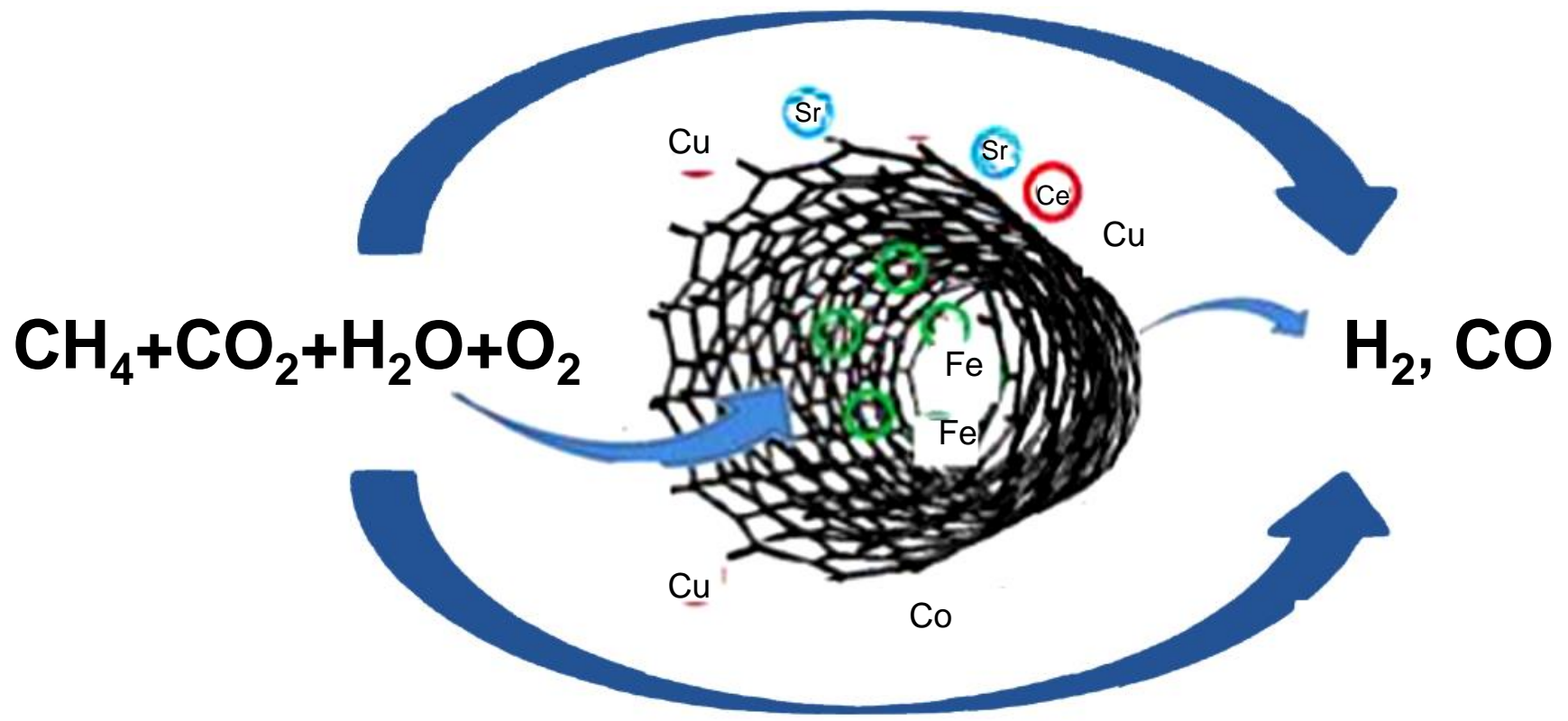
# Генерация каталитически активных наночастиц NiFeCo при восстановлении $\text{La}(\text{Fe},\text{Ni},\text{Co})\text{O}_3$ для углекислотной конверсии метана



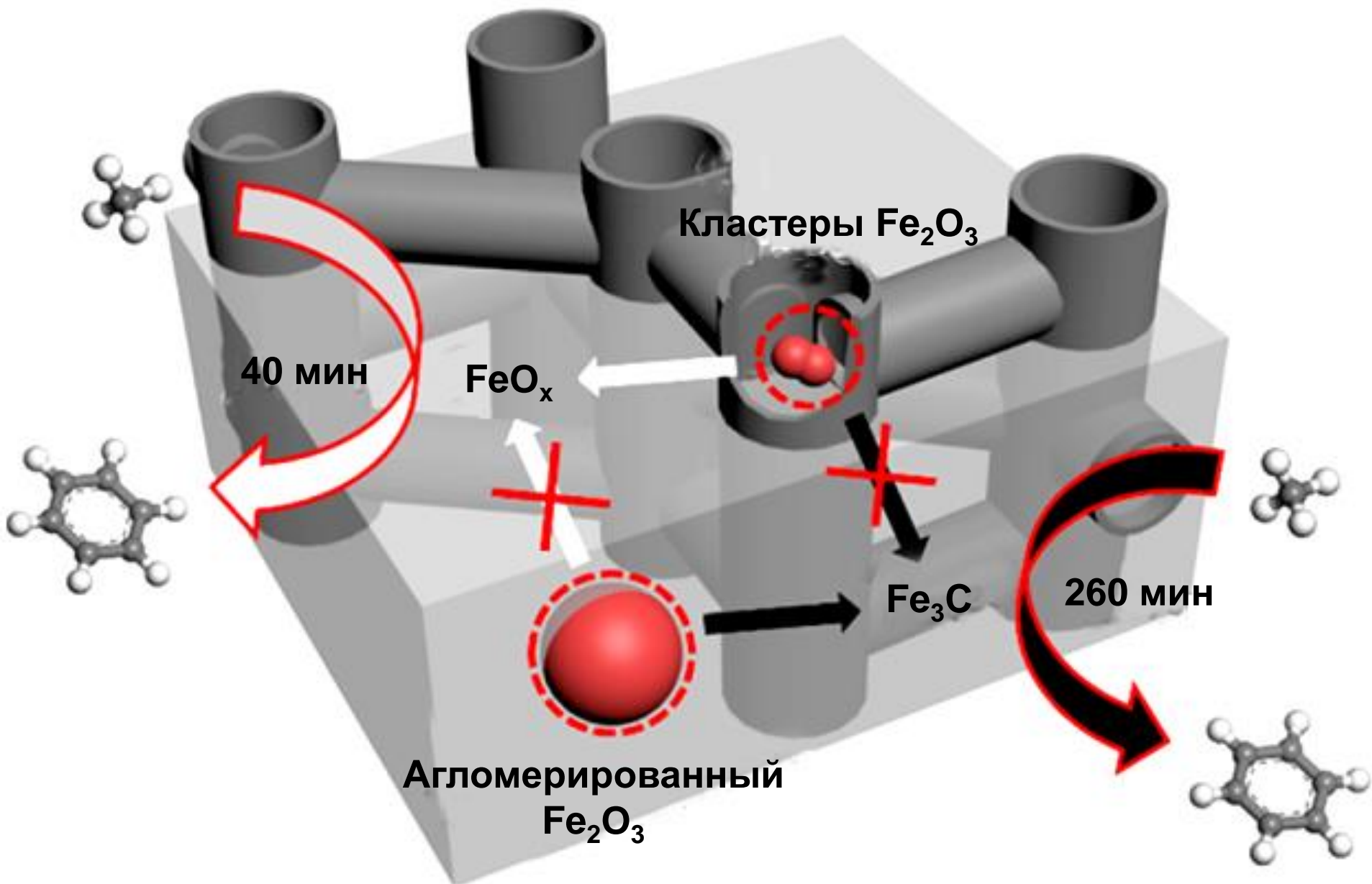
# Схема утилизации СММ путем АТР, сопряженного с предварительным концентрированием метана и in situ утилизацией CO<sub>2</sub>



# Три-риформинг метана в водородсодержащий газ в присутствии металл-углеродного катализатора



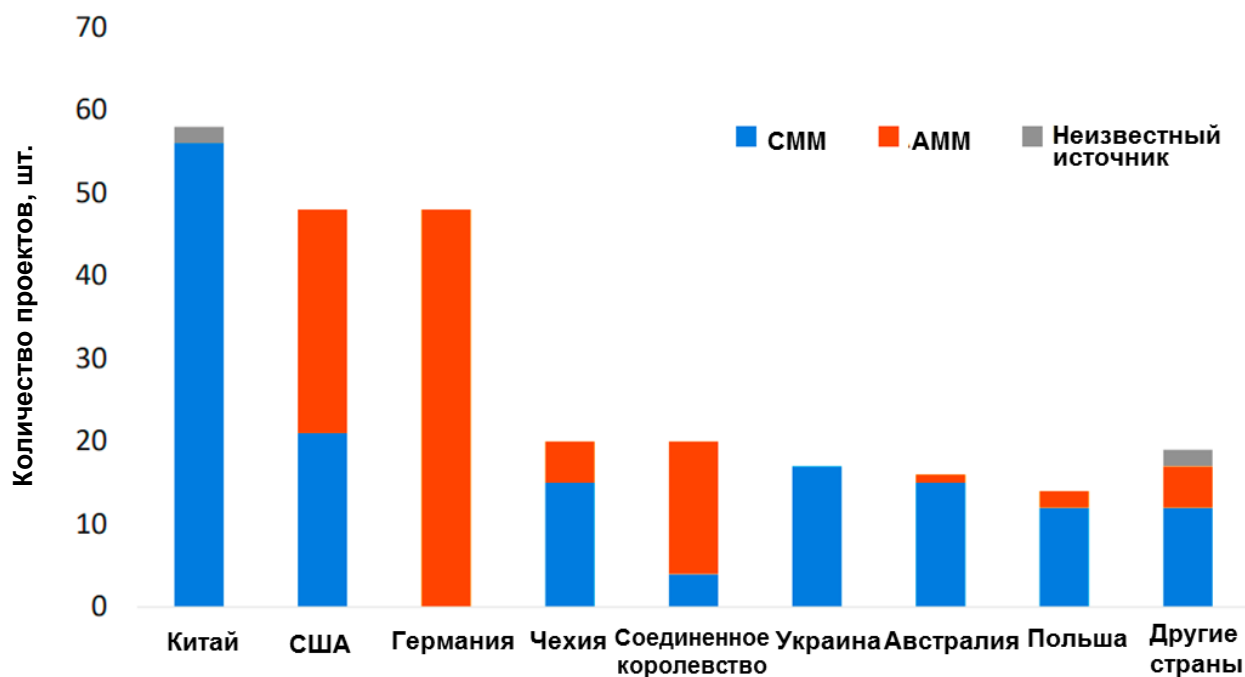
Активные центры катализатора Fe/ZSM-5 и их взаимосвязь с индукционным периодом реакции дегидроароматизации метана







## Количество проектов по утилизации метана угольной отрасли для разных стран мира и типы проектов по утилизации CMM и AMM (России пока здесь нет)



**CMM – метан дегазации**

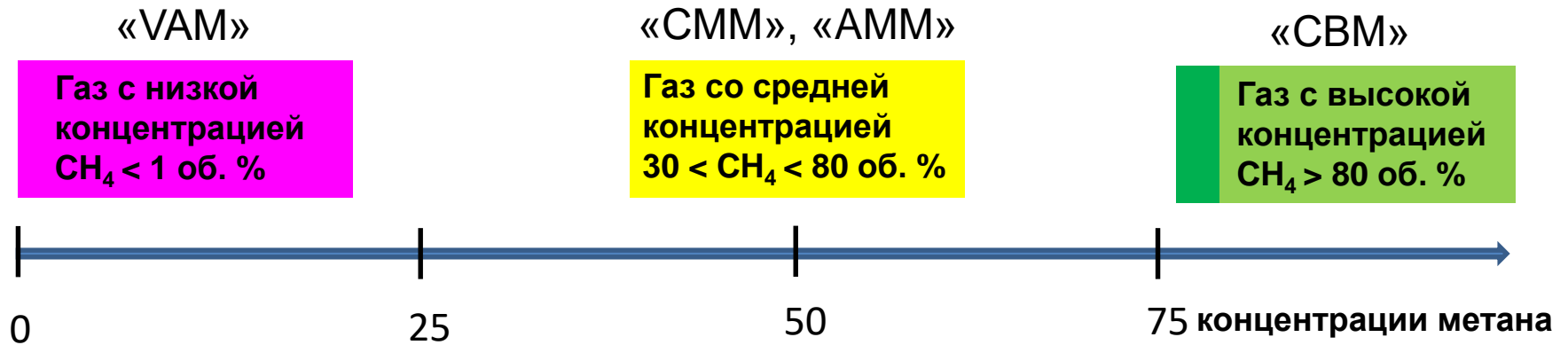
**AMM- метан из закрытых шахт**

*CMM and AMM Projects: Analysis of the 2021 CMM Project List n.d.*

[https://www.globalmethane.org/documents/](https://www.globalmethane.org/documents/PNNL_2021_CMM_Project_Status_and_Trends_v4.pdf)

*PNNL\_2021\_CMM Project Status and Trends\_v4.pdf.*

# Каталитические методы переработки различного по составу метан-содержащего газа угольной отрасли



1. Каталитические генераторы тепла, РЕВЕРС процесс ИК СО РАН (полное окисление в присутствии катализатора)

2. Процессы риформинга метана в синтез газ (окислительный, паровой, углекислотный автотермический, пароуглекислотный, три-риформинг)

3. Концентрирование и неокислительная конверсия метана (дегидроароматизация, разложение)

# КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО СЖИГАНИЯ ШАХТНОГО МЕТАНА

## СОВМЕСТНАЯ РАЗРАБОТКА ФИЦ ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА СО РАН ФИЦ УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН



Локальное автономное теплоснабжение.

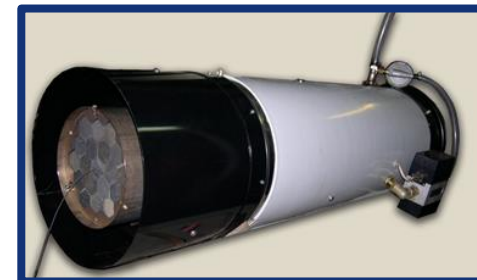
Отопление теплиц и производственных помещений.

Внутренний рынок:

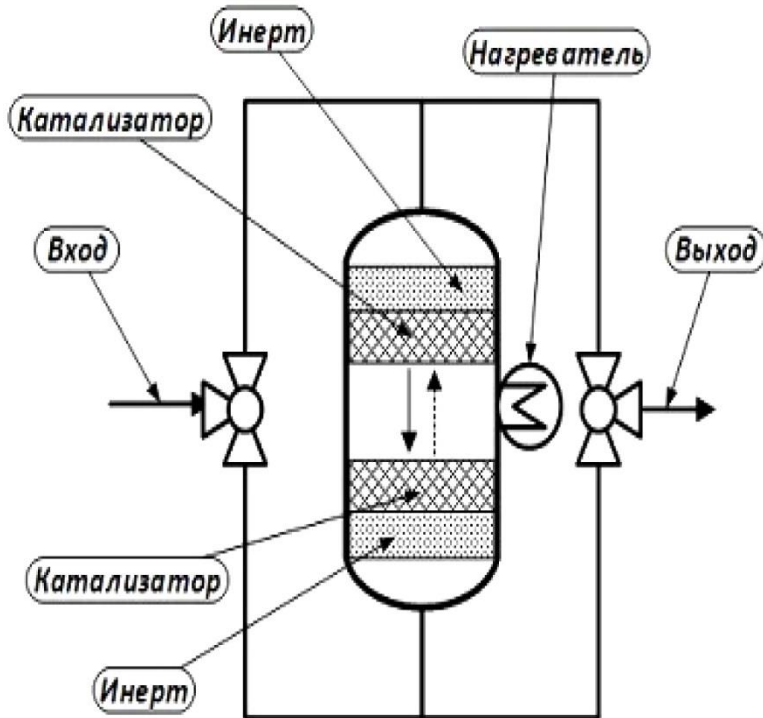
- Тепличное отопление – 1 млрд. ₽, рост 25% ежегодно.
- Фермы животноводческие – 3 млрд. ₽, рост 10% ежегодно.
- Промышленные объекты – 2 млрд. ₽, рост 10% ежегодно.
- Тепловое оборудование – 1 млрд. ₽, рост более 25%

**Два КТГ - 90  
отопляют теплицу  
800 м<sup>2</sup>. Всего 10 теплиц.  
Мощность 0,05 - 5 МВт  
Экономия топлива  
50-60%**

**ПРОИЗВОДСТВО  
Имеется полный  
комплект рабочей  
документации.  
Машиностроительные  
предприятия:  
Юрга, Кемерово  
И Новокузнецк**



# Реверс-процесс



Метод основан на изменении направления потока очищаемого газа в периодическом режиме. Таким образом, тепло, выделяемое при химической реакции, сохраняется в каталитическом слое. После изменения направления потока тепло, которое выделялось при каталитическом обезвреживании, служит для нагрева входящего очищаемого газа. Периодичность переключения варьируется от 5 до 100 минут и зависит от концентраций примесей и объемных скоростей потока.

Поддерживая при этом необходимую температуру в слое катализатора на уровне 300 - 700 °С (в зависимости от концентрации обезвреживаемых веществ и режима переключения), метод позволяет обеспечивать высокоэффективную очистку от разнообразных вредных или токсичных веществ при разных содержаниях загрязняющих веществ в потоке.

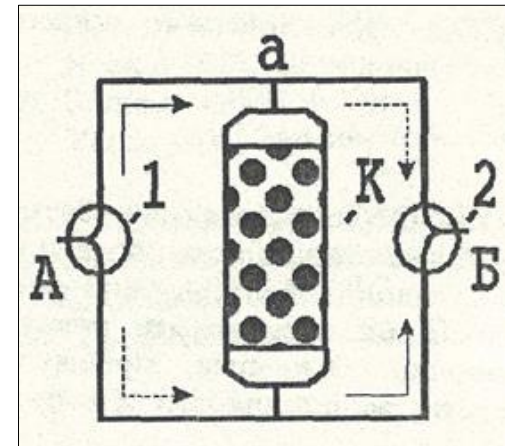


# Реверс-процесс ® - технология чистого сжигания метана и каталитической очистки промышленных газовых выбросов от органических веществ и оксида углерода



Рис. 1.

Установка каталитической очистки РЕВЕРС-ПРОЦЕСС



Принцип работы установки

1,2 – переключающие клапаны;  
А – газ на очистку; Б – очищенный газ;  
К – слой катализатора

# Варианты использования каталитических теплоагрегатов для переработки метансодержащих вентвыбросов с генерацией теплоты и выработкой электроэнергии

## Производительность установок

Объем перерабатываемых вентиляционных выбросов	Содержание метана в вентиляционных выбросах шахты	Производство только теплофикационной воды (Т = 70-115 °С, Р = 0,6 МПа)		Производство электроэнергии и теплофикационной воды	
				электроэнергии	теплофикационной воды
тыс. куб.м/час	об.%	Гкал/час	т/час	МВт	Гкал/час
25	0,85	0,87	19,4	0,41	0,46
	1,5	1,91	42,4	0,88	1,02
50	0,85	1,75	38,9	0,81	0,93
	1,5	3,82	84,9	1,77	2,04
100	0,85	3,50	77,8	1,62	1,86
	1,5	7,63	169,7	3,54	4,07
200	0,85	7,00	155,6	3,25	3,73
	1,5	15,28	339,5	7,09	8,15
400	0,85	14,00	311,2	6,50	7,47
	1,5	30,56	679,1	14,18	16,30

## Экономические оценки использования теплоагрегата по переработке вентвыбросов угольных шахт

<b>Производительность (объем перерабатываемых вентвыбросов)</b>	<b>100 тыс. м<sup>3</sup>/час</b>
Концентрация метана в вентвыбросах	0,8-1,0 % об.
Затраты на создание теплоагрегата	150-200 млн. руб.
Эксплуатационные расходы	15÷20 млн. руб.
Производимая теплота в виде горячей воды	25-30 тыс. Гкал/год
Тариф на тепловую энергию	1500 руб./Гкал
Выручка от продажи теплоты	37÷45 млн. руб./год
Сокращение платежей за уменьшение углеродного следа*)	70-80 млн. руб./год
Срок окупаемости теплоагрегата	3÷4 года (с учетом платежей за CO <sub>2</sub> ) 6÷7 лет (без учета платежей за CO <sub>2</sub> )

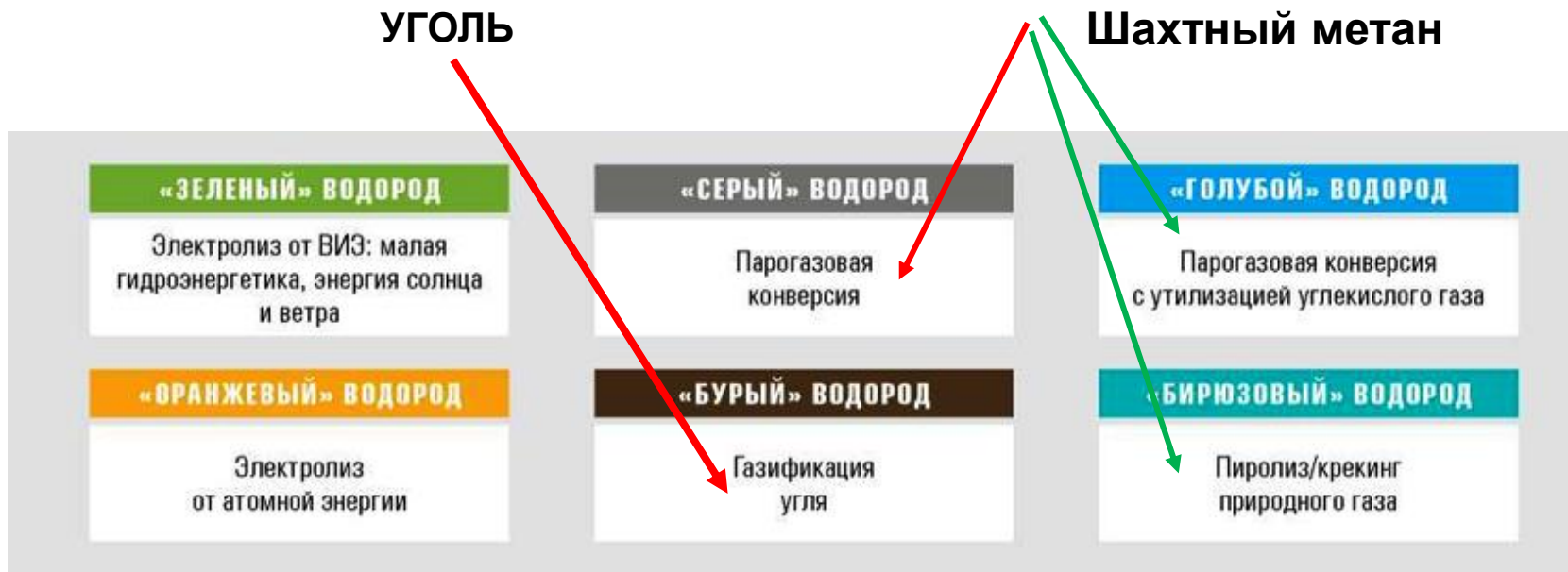
\*) С учетом стоимости выбросов 1 тонны CO<sub>2</sub> 10 евро и соотношением платы за выбросы «тонна CH<sub>4</sub>/тонна CO<sub>2</sub>» = 21



## Расчетная оценка сокращения платежей за выбросы парниковых газов

(установка производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/час; концентрация метана - 1% об.)

№	Процесс	Суммарные выбросы, т/год		Плата за выбросы (млн. руб.) при стоимости углеродной единицы			
				10 евро		40 евро	
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
1.	Без очистки вентвыбросов	5600	-	106,00	-	423,0	-
2.	Каталитическая очистка вентвыбросов от метана	-	16000	-	14,0	-	58,0
<b>Сокращение платежей при каталитической очистке вентвыбросов от метана</b>				<b>92,0</b>		<b>365,0</b>	



Еще одна категория зеленого (???) водорода.

С образованием второго полезного продукта:



Без образования CO<sub>2</sub> и других побочных продуктов

# Coal Methane

- Coal Bed Methane (CBM) - 90% CH<sub>4</sub>
- Coal Mine Methane (CMM) – 25-40%
- Abandoned Mine Methane (AMM) - 50-70%
- Ventilation Air Methane (VAM) – 0,3 – 1,5%

## Main interest:



## Other reactions:



Опыт участия в международном проекте по утилизации метана. **DEM CAMER**  
17 организаций из 10 стран, университеты и промышленные компании

## **Разработка катализатора для Автотермического риформинга шахтного метана**

Autothermal Reforming (ATR),  
Fischer-Tropsch (FTS),  
Water Gas Shift (WGS),  
Oxidative Coupling of Methane (OCM)  
Pure hydrogen, liquid hydrocarbons and ethylene production.

### **Регулирование характеристик катализатора путем варьирования:**

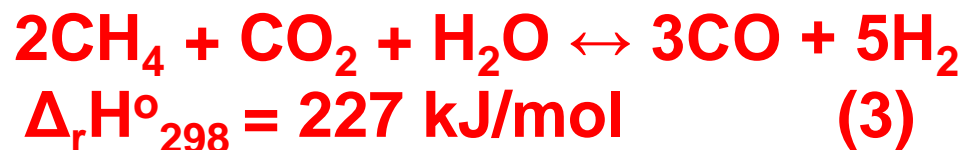
1. - тип носителя ( $\text{Ce}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_y$ ,  $\text{Ce}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_y/\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{M} = \text{Zr, Gd, La, Mg}$ ;  $x = 0-1$ ,  $y = 1-2$ );
2. - содержание активного компонента ( $\text{Ni} = 5-30$  мас.%,  $\text{Pt, Pd, Rh} = 0.5-1.5$  мас.%);
3. - тип промотирующей добавки ( $\text{Mo, Pt, Pd, Re, Sn, Sr}$ );
4. - содержание промотирующей добавки ( $\text{M/Ni} = 0.003; 0.01; 0.03$ );
5. - метод приготовления (пропитка по влагоемкости, золь-гель метод).

## Показатели реакции АТР на катализаторах ИК СО РАН при 850°C

Состав образца	$X_{\text{CH}_4}$	$Y_{\text{H}_2}$	$Y_{\text{CO}}$	$\text{H}_2/\text{CO}$
<b>Вариация содержание <math>\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2</math></b>				
NiPd/10 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	98	57	67	2.4
NiPd/20 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	93	69	55	3.7
NiPd/30 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	96	66	63	3.1
<b>Вариация содержание <math>\text{La}_2\text{O}_3</math></b>				
NiPd/5 $\text{La}_2\text{O}_3/10\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	98	60	66	2.7
NiPd/10 $\text{La}_2\text{O}_3/10\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	98	64	73	2.7
NiPd/20 $\text{La}_2\text{O}_3/10\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	97	69	66	3.1
<b>Метод приготовления</b>				
Ni+Pd/10 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (CI-1)	98	57	67	2.4
Ni+Pd+10 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (CI-2)	95	64	67	2.9
PdNi/10 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (SI-1)	98	<b>78 !</b>	83	2.7
NiPd/10 $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (SI-2)	100	61	54	3.1

**В результате скрининга катализаторов в реакции АТР метана выбран оптимальный состав и метод приготовления :  $0.5\text{Pd}10\text{Ni}/10\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (SI-1)**

## Пароуглекислотный бириформинг метана



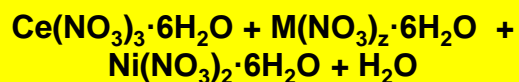
### Hydrogen Production through Bi-Reforming of Methane: Improving Ni Catalyst Performance via an Exsolution Approach

Ekaterina Matus 1,\* , Olga Sukhova 1, Mikhail Kerzhentsev 1, Ilyas Ismagilov 1, Svetlana Yashnik 1, Vladimir Ushakov 1, Olga Stonkus 1, Evgeny Gerasimov 1, Andrey Nikitin 2, Pankaj Bharali 3 and Zinifer Ismagilov 1,2

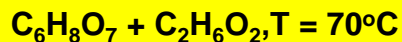
*Catalysts* **2022**, 12(12), 1493; <https://doi.org/10.3390/catal12121493>

# Синтез материалов

## Схема синтеза

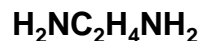


+



60°C/1 ч

раствор



полимерный гель

70°C/48 ч

смолообразный продукт

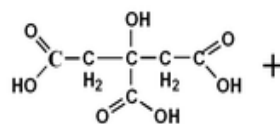
$\text{O}_2/500^\circ\text{C}/4$  ч

предшественник  
 $(\text{CeM})_{0.8}\text{Ni}_{0.2}\text{O}_y$

$\text{H}_2/800^\circ\text{C}/1$  ч

катализатор  $\text{Ni}^0/\text{Ce-M-O}$

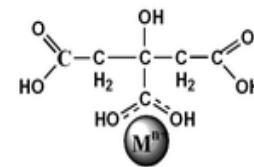
## Метод сложноэфирных полимерных предшественников



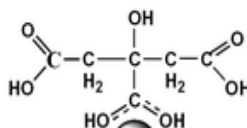
лимонная кислота



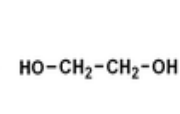
катион металла



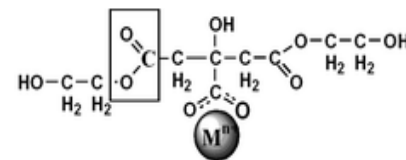
цитратный комплекс металла



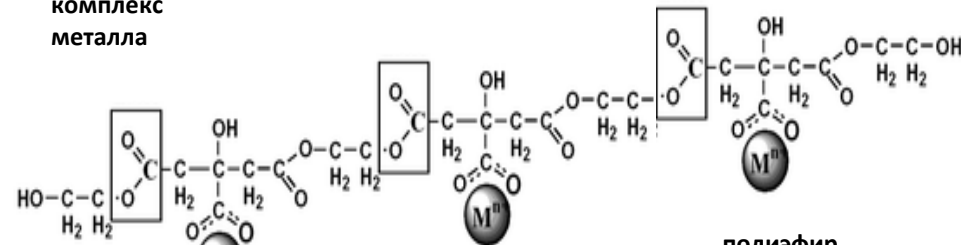
цитратный комплекс металла



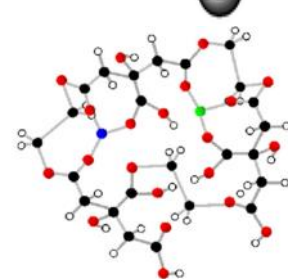
этиленгликоль



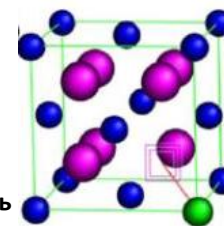
сложный эфир



полиэфир

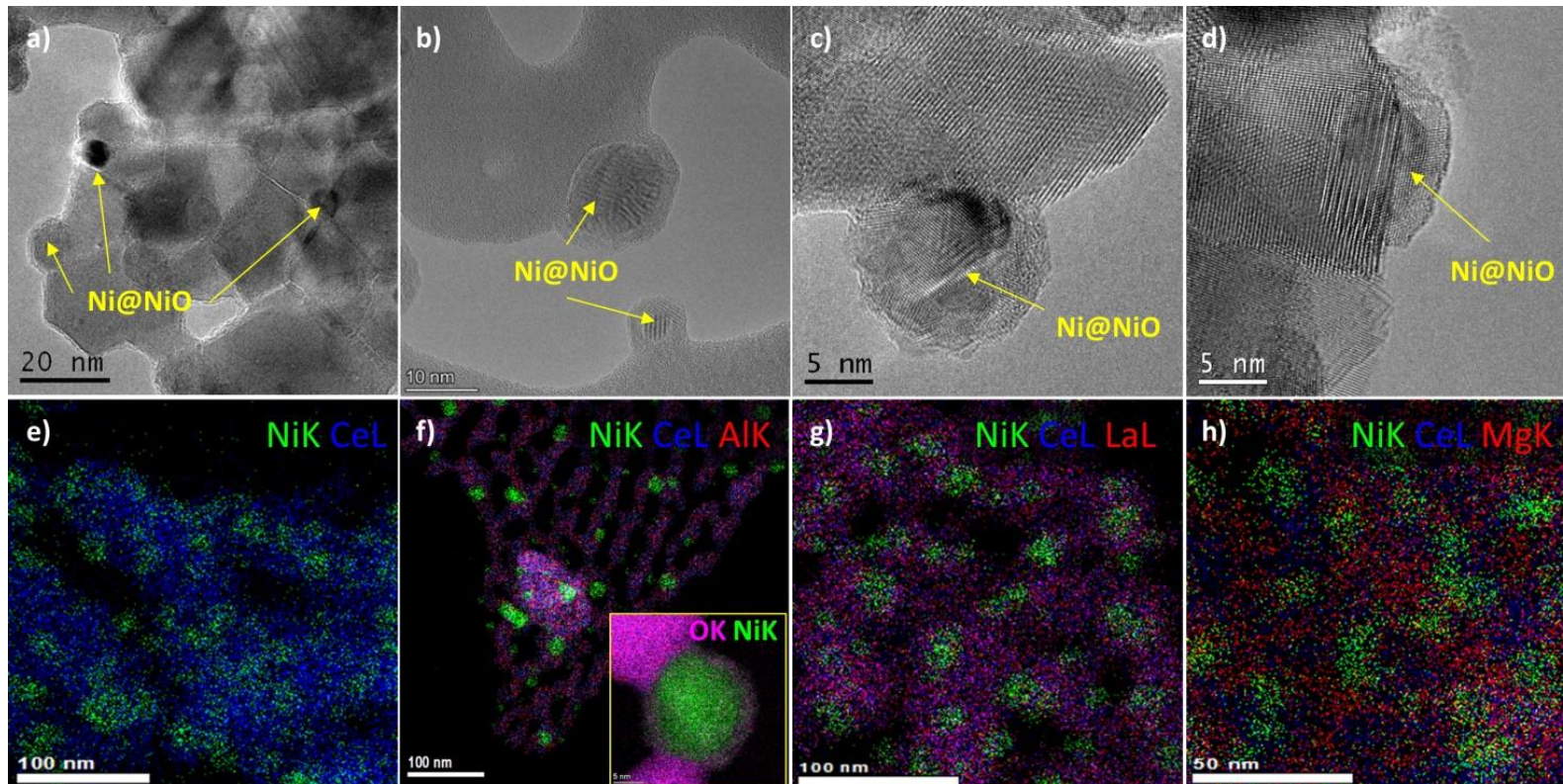
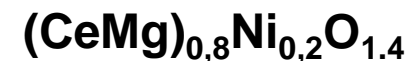
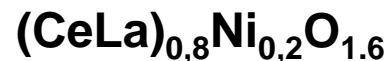
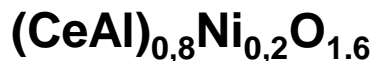


полимерный гель



твердый раствор

# Снимки ПЭМВР (a–d) и EDX-картирование (e–h) образцов после активации в H<sub>2</sub> при 800°C



Зеленым цветом обозначен никель, синим – церий, красным – допирующий элемент Al (f), La (g) или Mg (h)

В результате восстановительной активации образцов происходит образование Ni двух типов: нанокристаллиты размером 2–4 нм и наночастицы размером 8–15 нм.



# Пароуглекислотная конверсия метана

T = 750°C

Образец	X <sub>CH<sub>4</sub></sub>	X <sub>CO<sub>2</sub></sub>	Y <sub>H<sub>2</sub></sub>	Y <sub>CO</sub>	H <sub>2</sub> /CO	Содержание C, мас. %
Ce <sub>0.8</sub> Ni <sub>0.2</sub> O <sub>1.7</sub>	61	63	66	66	1.4	2.7
10Ni/CeO <sub>2</sub>	68	80	64	69	1.2	21.6
Ce <sub>0.8</sub> (NiPd) <sub>0.2</sub> O <sub>1.7</sub>	66	58	82	65	1.6	2.3
10Ni0.5Pd/CeO <sub>2</sub>	64	82	60	67	1.2	32.7
(Ce <sub>0.5</sub> La <sub>0.5</sub> ) <sub>0.8</sub> Ni <sub>0.2</sub> O <sub>1.6</sub>	74	83	61	69	1.1	8.0
Ni/Ce <sub>0.5</sub> La <sub>0.5</sub> O <sub>1.75</sub>	76	82	80	76	1.4	26.7
(Ce <sub>0.5</sub> Mg <sub>0.5</sub> ) <sub>0.8</sub> Ni <sub>0.2</sub> O <sub>1.4</sub>	<b>92</b>	<b>73</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>1.5</b>	<b>0.9</b>
Ni/Ce <sub>0.5</sub> Mg <sub>0.5</sub> O <sub>1.5</sub>	82	69	91	82	1.6	1.9

- Выявлен оптимальный материал (Ce<sub>0.5</sub>Mg<sub>0.5</sub>)<sub>0.8</sub>Ni<sub>0.2</sub>O<sub>1.4</sub> отличающийся высокой устойчивостью к образованию углеродистых отложений и обеспечивающий высокий выход целевых продуктов реакции.

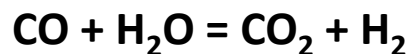
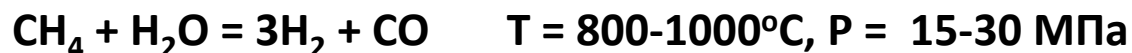
Ismagilov Z.R., Matus E.V., Li L.

Catalytic Methods of Converting Carbon Dioxide into Useful Products to Reduce the Impact of Coal Generation on Global Climate Change // Physics-Uspekhi. 2022. DOI: 10.3367/UFNe.2021.07.039084

## Традиционные и новые технологии переработки метана

Метан

Паровая конверсия метана  $\longrightarrow$   $\text{H}_2 + \text{CO}$



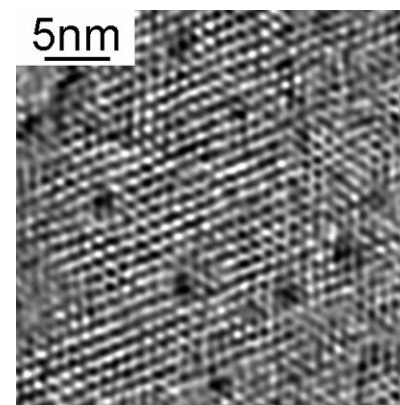
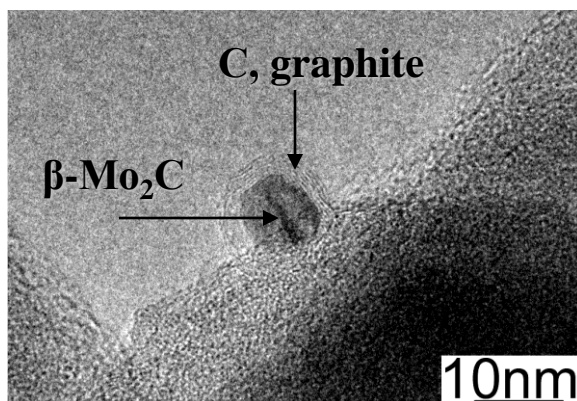
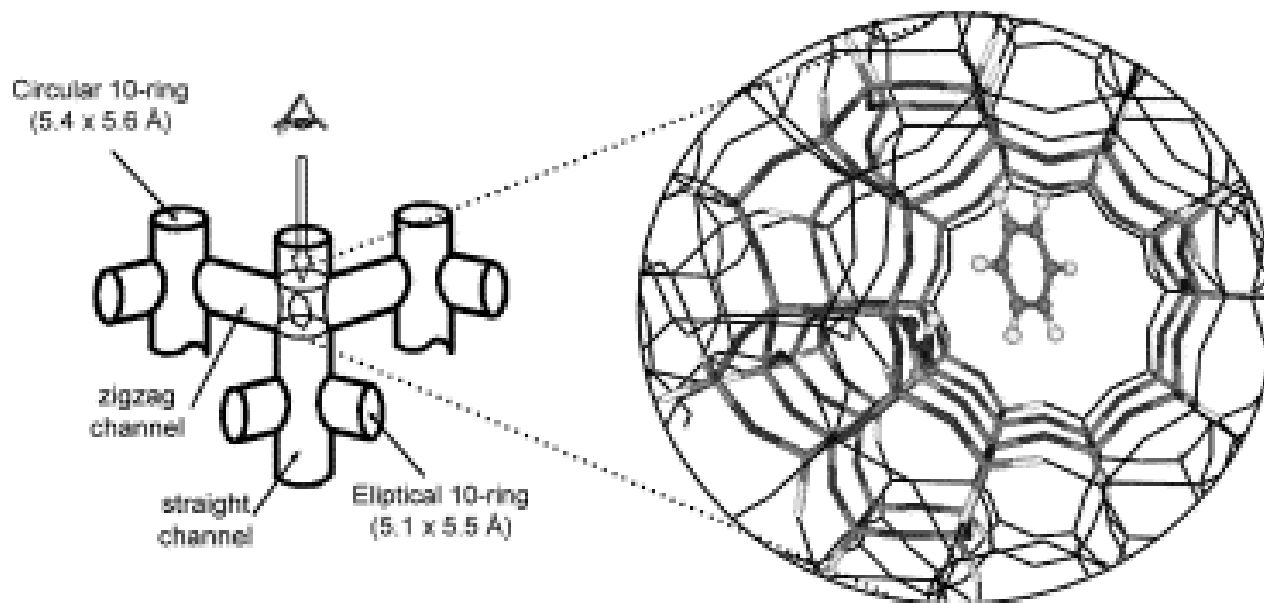
Каталитическое разложение метана  $\longrightarrow$   $\text{H}_2 + \text{C}_{\text{волоkn.}}$



Дегидроароматизация метана  $\longrightarrow$   $\text{H}_2 + \text{C}_6\text{H}_6$



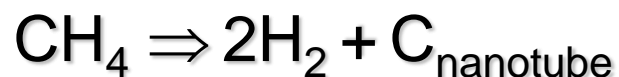
Из 6 молекул метана получаем 9 молекул водорода и молекулу бензола



**The Mo-containing clusters localized in zeolite channels can be the active centers for CH<sub>4</sub> DHA.**

# КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА МЕТАНА В ЧИСТЫЙ ВОДОРОД И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

. Podyacheva, O.; Ismagilov, Z. *Catal. Today* 2015, 249, 12.

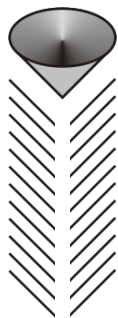


## Reaction conditions:

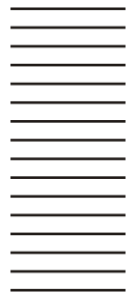
- Temperature: 500 – 700 °C;
- Catalyst: Ni, Co, Fe, alloys.

## Products:

- Hydrogen;
- Mesoporous nanostructured carbon material (nanofibers and nanotubes).



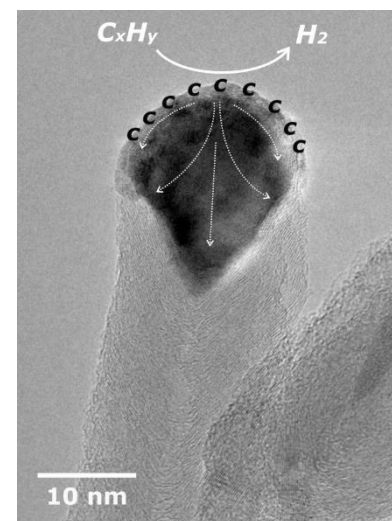
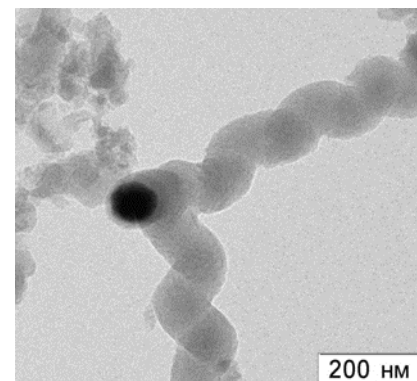
*“fishbone”*



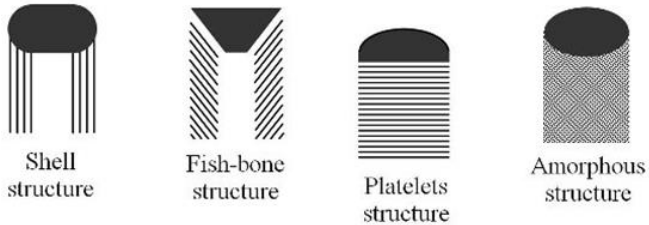
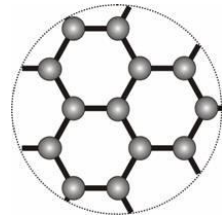
*“platelet”*



*nanotubes*



# Catalytic synthesis of Carbon Nano Materials (CNM)

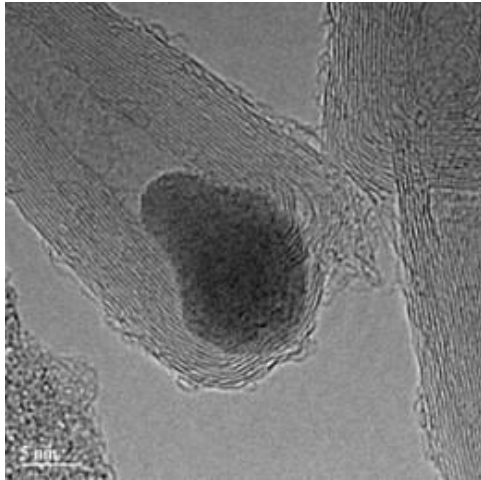


Main properties:

- BET surface area: 100 - 300  $m^2/g$
- Mezopore: 0.25 - 2  $cm^3/g$
- Structure

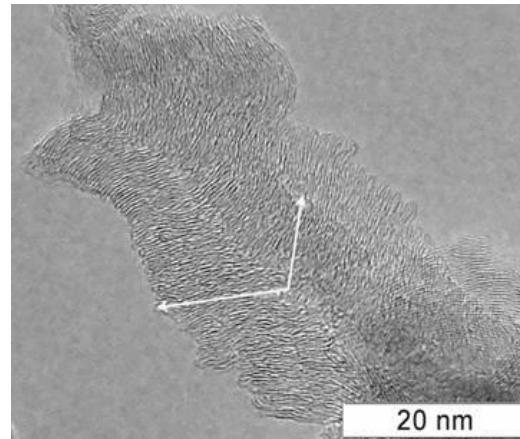
## Nanotubes

$CH_4$  Fe-Al  
 $C_2H_4$  Fe-Co-Al

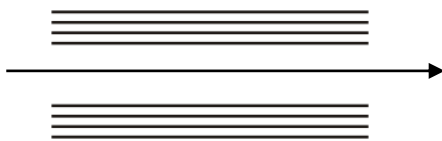
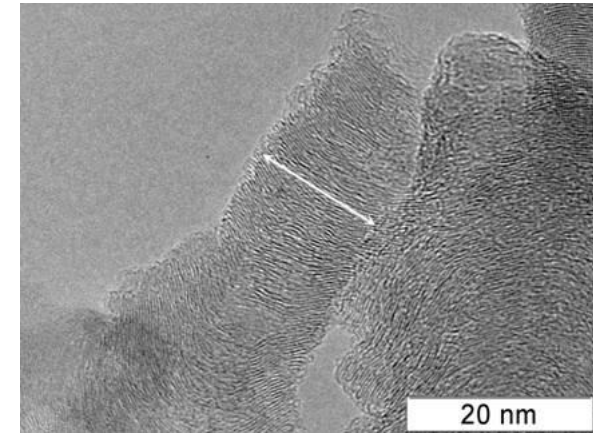


## Nanofibers

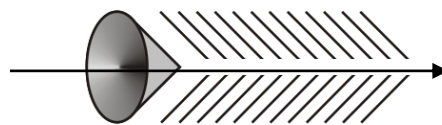
$C_2H_4$  Ni-Cu-Al



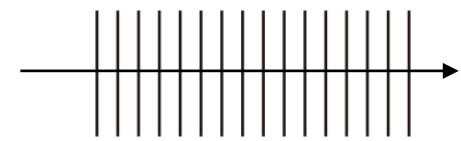
$C_2H_6$  Ni-Cu-Al



Multiwall tubes



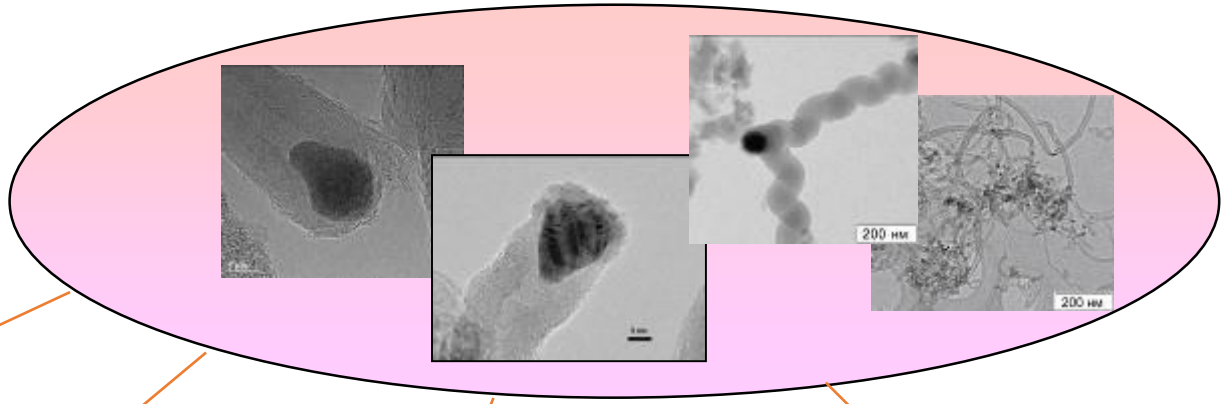
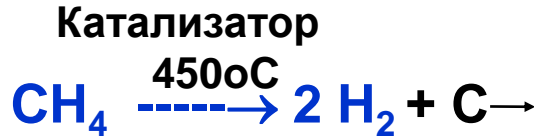
«fish bone»



«platelets, stack of cards»

# Технология получения углеродных нановолокон (УНВ) и водорода путем каталитического разложения шахтного метана.

## Углеродное моноволокно из мезофазного каменноугольного пека



### Автомобильная промышленность



Бензобаки, прокладки, бензонасосы,



Детали кузова

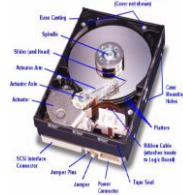


Шланги

### Электроника

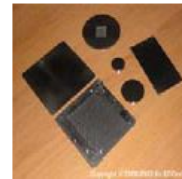


Контейнеры для хранения полупроводниковых материалов

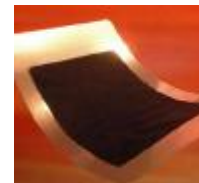


Компоненты жестких дисков

### Топливные элементы



Биполярные пластины



Носители электродных катализаторов

### Авиация, космос



Композиционные материалы



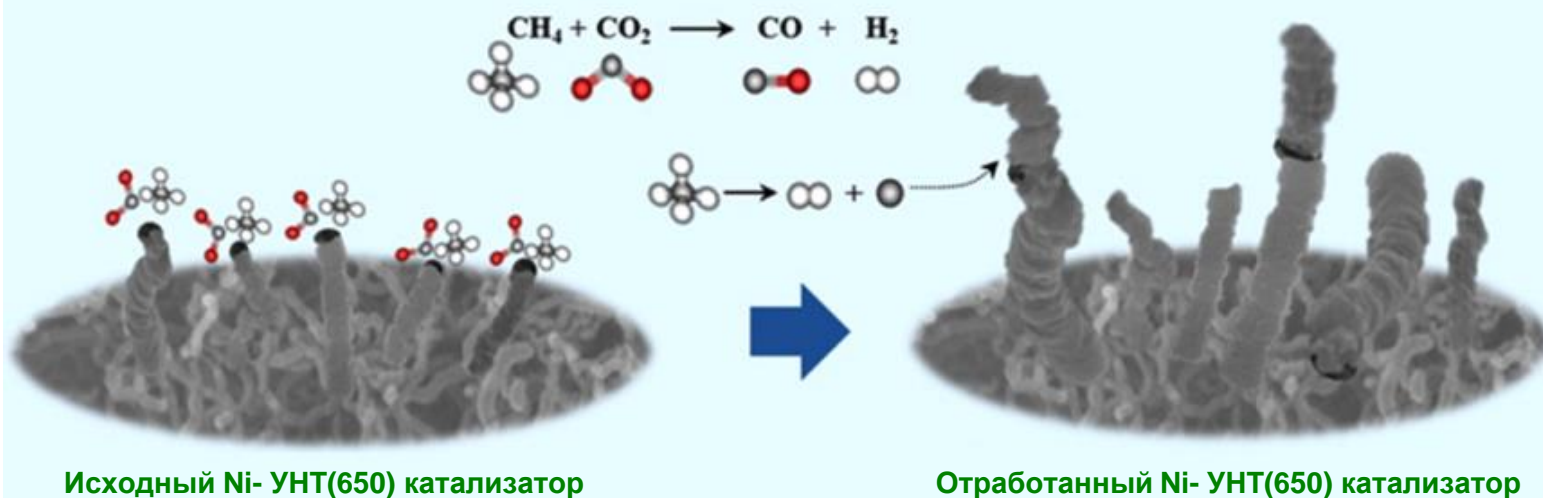
Композиционные материалы



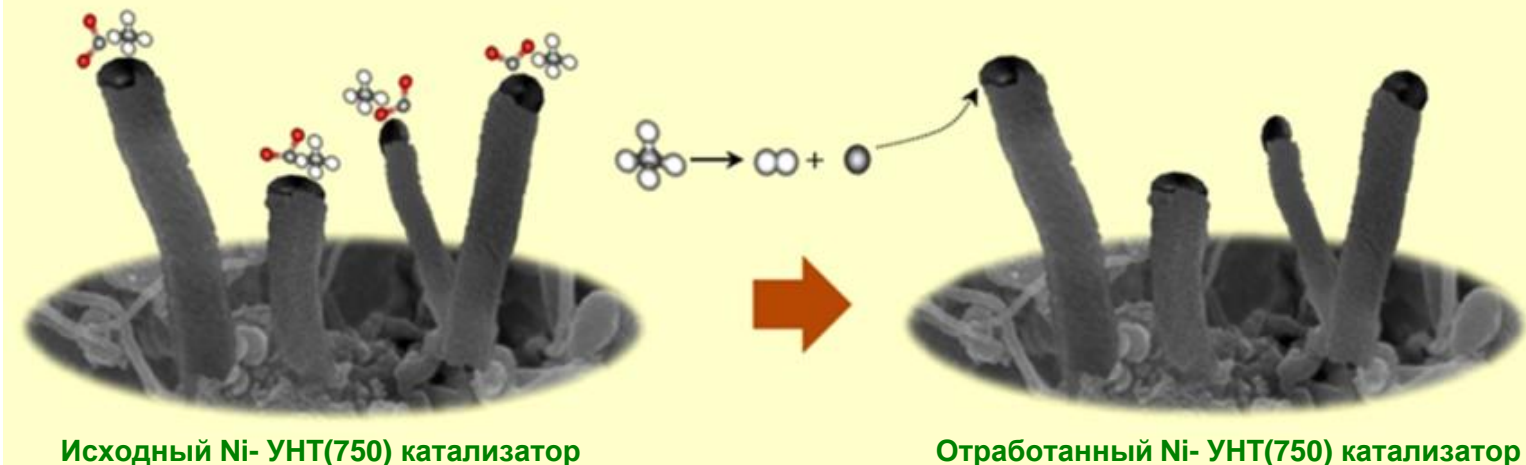
Проводящие адгезионные материалы

# Композитные Ni катализаторы для углекислотного риформинга метана

Менее стабильный УНТ в композите Ni- УНТ катализаторе



Высоко стабильный УНТ в композите Ni- УНТ катализаторе



**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН**

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА СО РАН**

**Предлагают исследования и технологии  
каталитических методов утилизации  
метана угольных пластов**

**Для этого имеется:**

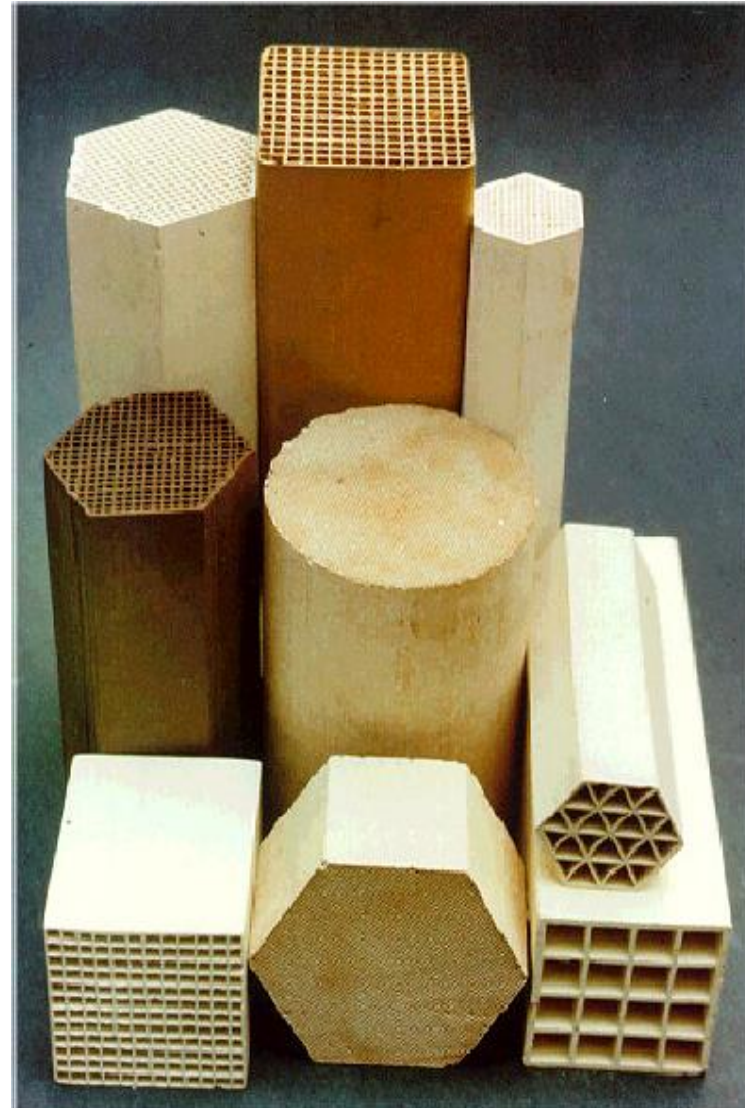
- 1. Многолетний опыт  
разработки и внедрения инновационных технологий**
- 2. Компетенции и продукты мирового уровня**
- 3. Высокий уровень наработок фундаментальных  
исследований для технологий утилизации  
метана угольных пластов**



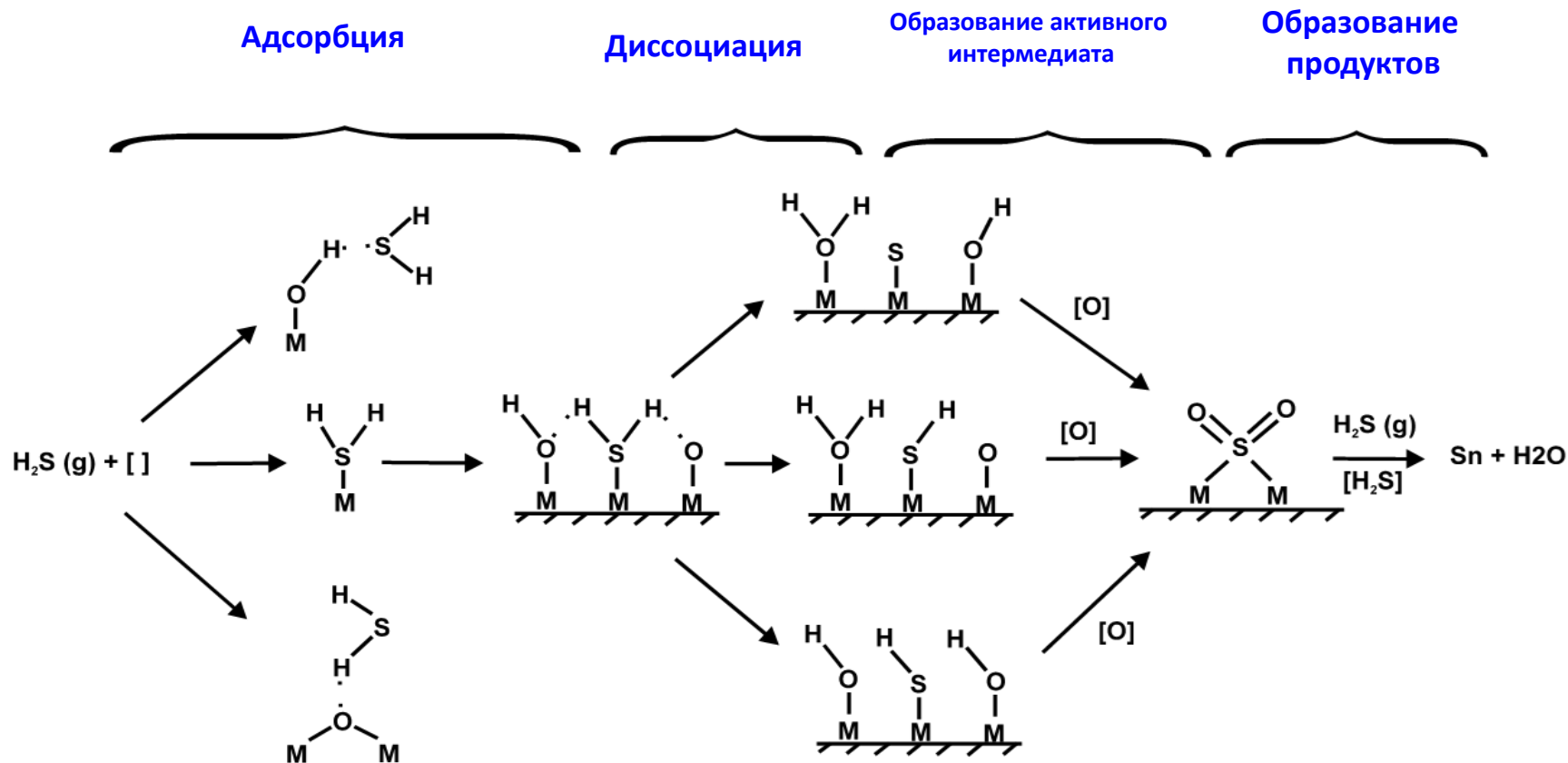
# Инженерная концепция технологии с блочным катализатором сотовой структуры

Блочный катализатор сотовой структуры

**Очистка газов**  
**Исмагилов З.Р. и др..**  
**Патент РФ № 2144495**



## Пример создания промышленной технологии на основании фундаментальных исследований тонкого механизма реакции окисления $\text{H}_2\text{S}$



Предлагаемый механизм реакции прямого парциального окисления сероводорода на оксидных катализаторах включает образование на первой стадии сульфат-сульфитных комплексов на поверхности катализаторов, вступающих во взаимодействие с сероводородом из газовой фазы по реакции поверхностного Клауса с образованием элементарной серы и воды.

2011 год

Пуск опытно-промышленной установки  
очистки попутного нефтяного газа от **СЕРОВОДОРОДА**  
Бавлинский газовый цех. ПАО «Татнефть»



реактор

Пусковой подогреватель

Установка прямого окисления  
сероводорода в составе кислого газа

Производительность по кислому газу  
– до 80  $\text{нм}^3/\text{час}$

Содержание сероводорода в кислом  
газе – 30-65 об. %

Ismagilov Z.R., Zamaraev K.I., Parmon V.N., Khairulin S.R. et al.  
Method for the purification of hydrogen sulfide containing gases.

**US Patent No 4.886.649 (1989).**

Ismagilov Z.R., Zamaraev K.I., Parmon V.N., Khairulin S.R. et al.  
Verfahren zur Reinigung von Schwefelwasserstoffhaltigen Gasen. **Offenlegungsschrift DE 39 03 294 (1989).**

Ismagilov Z.R., Zamaraev K.I., Parmon V.N., Khairulin S.R. et al.  
Procédé d'épuration de gaz contenant de l'hydrogen sulfure.

**Demande de brevet d'invention. № 2626784**

Ismagilov Z.R., Zamaraev K.I., Parmon V.N., Khairulin S.R. et al.  
Method for the purification of hydrogen sulfide containing gases

**Canadian Patent No 1.307.906**

Ismagilov Z.R., Zamaraev K.I., Parmon V.N., Khairulin S.R. et al.  
Method for the purification of hydrogen sulfide containing gases

**Japanese Patent No 1-246112**

Исмагилов З.Р. и др.. Способ приготовления катализатора для получения серы из сероводорода. **Патент РФ № 2035221,**

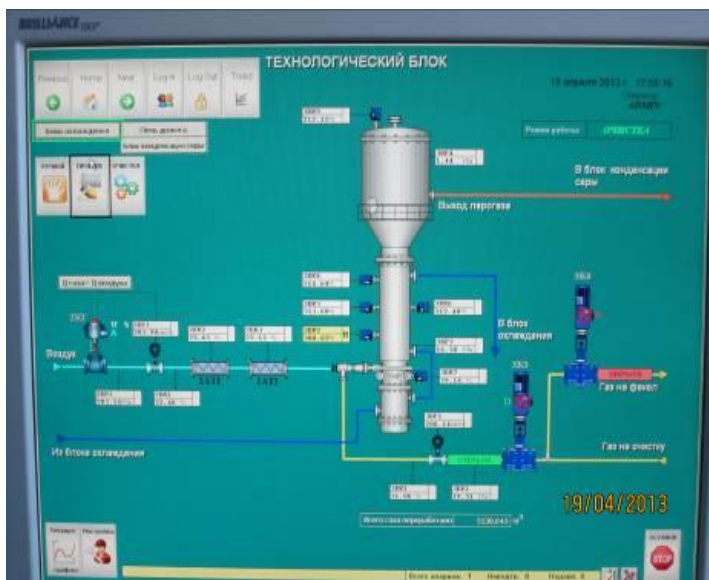
**пр. 13.04.92г**

З.Р.Исмагилов и др. Способ очистки газовых потоков от сероводорода.. **Патента РФ № 25350341 опубл.**

**27.08.2014**

З.Р.Исмагилов и др. Установка для переработки сероводородосодержащих газов. **Патент на полезную модель РФ № 149826 // опубл. 28.01.2015**

# Промышленная установка прямого окисления сероводорода



2013 год

Пуск промышленной установки очистки попутного нефтяного газа  
Бавлинский газовый цех. ПАО «ТАТНЕФТЬ»



Мощность по кислому газу до 250  $\text{м}^3$  /час.

Содержание сероводорода – 30-65 об.%

Запущена в эксплуатацию в 2013 году

# 2015 год

Промышленная установка очистки ПНГ прямым каталитическим окислением. Заинский район, Татарстан



## ИТОГИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ В БАВЛИНСКОМ ГАЗОВОМ ЦЕХЕ май 2011 по настоящее время

1. Произведено **1,30млрд. м<sup>3</sup>** очищенного газа для поставки потребителям
2. **10 000 тонн сероводорода** переработано в элементарную серу
3. Предотвращен выброс в атмосферу **22000 тонн** диоксида серы и серной кислоты (300 железнодорожных цистерн !)
4. Дополнительно добыто **73 млн. тонн нефти**
5. Начаты проектные разработки по реконструкции БУСО ПАО «ТАТНЕФТЬ» на мощность – 85 млн. м<sup>3</sup>сырого газа в год (420 м<sup>3</sup> кислого газа в час.)

Установка утилизации сероводорода процесса гидрокрекинга для ООО «НОВАТЭК - Усть-Луга». Наша технология прямого каталитического окисления сероводорода победила на закрытых конкурсных торгах, по сравнению с технологиями ведущих западных фирм – WSA – компании **Haldor Topsoe**, THIOPAQ – компаний **UOP LLC**, **Shell Global Solutions B.V.** and **Paques B.V.**



**Реакторный блок**



**Блок каплеуловителя**





**Блок охлаждения**



**Блок сепаратора**

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН**

**Производственный участок станда «Сорбенты»**



# В ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН разработана технология получения гуминовых препаратов из бурых углей Кузбасса

Технология оптимизирована и испытана в условиях укрупненного оборудования опытно-экспериментального стенда.



## Высокие компетенции в разработке новых процессов в газо- нефтехимии

### Зарубежные патенты по ультра-глубокой очистке топлив

1. **Patent US** 8906227B2 - 2014-12-09. Mild hydrodesulfurization integrating gas phase catalytic oxidation to produce fuels having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
2. **International Application** WO2013116338 A1 – 2013-08-08. Mild hydrodesulfurization integrating gas phase catalytic oxidation to produce fuels having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
3. **Chinese Patent** CN104204146 B – 2016–06-29. Integrated fuel mild hydrodesulfurization catalytic vapor phase oxidation to produce ultra-low levels of organic sulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
4. **European Patent** EP2809747 A1 – 2014-12-10. Mild hydrodesulfurization integrating gas phase catalytic oxidation to produce fuels having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
5. **Korean Patent Application** 1020147024692, 2015-04-06. Mild hydrodesulfurization integrating gas phase catalytic oxidation to produce fuels having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
6. **Patent US** 8920635B2 - 2014-12-30. Targeted desulfurization process and apparatus integrating gas phase oxidative desulfurization and hydrodesulfurization to produce diesel fuel having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
7. **European Patent** EP 3118281 A1 – 201701-18. Apparatus integrating gas phase oxidative desulfurization and hydrodesulfurization to produce diesel fuel having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.

## Зарубежные патенты по ультра-глубокой очистке топлив

8. **Korean Patent Application** 1020150105905 – 2015-09-18. Targeted desulfurization process and apparatus integrating gas phase oxidative desulfurization and hydrodesulfurization to produce diesel fuel having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
9. **US Patent application** US 2013/0026072A1- 2013-1-31. Catalytic compositions useful in removal of sulfur compounds from gaseous hydrocarbons, processes for making these and uses thereof. A.Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
10. **US Patent application** US 2013/0028822A1- 2013-1-31. Catalytic compositions useful in removal of sulfur compounds from gaseous hydrocarbons, processes for making these and uses thereof. A.Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
11. **International Application** WO2013015889 A1 -2013 – 31. Catalytic compositions useful in removal of sulfur compounds from gaseous hydrocarbons, processes for making these and uses thereof. A.Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
12. **Chinese Patent Application** CN104136116 A – 2014-11-05. Catalytic compositions useful in removal of sulfur compounds from gaseous hydrocarbons, processes for making these and uses thereof. A.Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
13. **International Application** WO/2014/109777 - - 2014-07-17. Targeted desulfurization process and apparatus integrating gas phase oxidative desulfurization and hydrodesulfurization to produce diesel fuel having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.

## Зарубежные патенты по ультра-глубокой очистке топлив

14. **International Application** WO/2014/109777 - - 2014-07-17. Targeted desulfurization process and apparatus integrating gas phase oxidative desulfurization and hydrodesulfurization to produce diesel fuel having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
15. **Chinese Patent** CN104245893 A – 2014-12-24. Targeted desulfurization process and apparatus integrating gas phase oxidative desulfurization and hydrodesulfurization to produce diesel fuel having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
16. **European Patent** EP2823021 A1 – 2015-01-14. Targeted desulfurization process and apparatus integrating gas phase oxidative desulfurization and hydrodesulfurization to produce diesel fuel having an ultra-low level of organosulfur compounds. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
17. **European Patent Application** EP2736636 A1. 2014-06-04. Catalytic compositions useful in removal of sulfur compounds from gaseous hydrocarbons, processes for making these and uses thereof. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
18. **Korean Patent Application** 1020147005037 - 2014-06-26. Catalytic compositions useful in removal of sulfur compounds from gaseous hydrocarbons, processes for making these and uses thereof. A. Bourane, O.R. Koseoglu, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
19. **US Patent application** US 2016/14/987141. Filed 2016-1-04. Methods for gas phase oxidative desulfurization of hydrocarbons using CuZnAl catalysts promoted with group VIB metal oxides. Koseoglu, Yaming Jin, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, A.V. Salnikov, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
20. **US Patent application** No. US20180029023A1. Filed July 26, 2016. Additives for gas phase oxidative desulfurization catalyst, O.R. Koseoglu, Yaming JIN, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.
21. **PCT International Application** No. PCT/US2017/043684. Filed July 25, 2017. Additives for gas phase oxidative desulfurization catalyst, O.R. Koseoglu, Yaming JIN, Z.R. Ismagilov, S.A. Yashnik, M.A. Kerzhentsev, V.N. Parmon.

Исследования по утилизации метана угольных пластов будут представлены



## XII МЕЖДУНАРОДНЫЙ РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКИЙ СИМПОЗИУМ

«УГЛЕХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ КУЗБАССА»

3 – 6 июля 2023 г.



МИНОБРНАУКИ  
РОССИИ



НОЦ  
КУЗБАСС

Научно-образовательный  
центр «Кузбасс»





МИНОБРНАУКИ  
РОССИИ



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН  
Соучредитель журнала

**Спасибо  
за внимание**





## Наши компетенции



Карта цитирования публикаций автора доклада, в том числе по утилизации метана, по Российским и зарубежным научным организациям.  
Исмагилов З.Р. автор и соавтор более 1600 публикаций,  
630 по WoS, цитирование 6660, индекс Хирша 38