

Глубокая переработка тяжелых нефтей нефтяных остатков  
Казань 10 ноября 2022 г.

**Научные основы получения функциональных  
углеродных материалов из каменноугольного пека  
и исследование коллоидной структуры пека из  
каменноугольной смолы  
ГРАНТ РФФ22-13-00042**

**Исмагилов З.Р.  
академик РАН**

**Лауреат Премии Глобальная Энергия 2021**

**Научный руководитель  
Федеральный Исследовательский Центр  
угля и углехимии СО РАН**

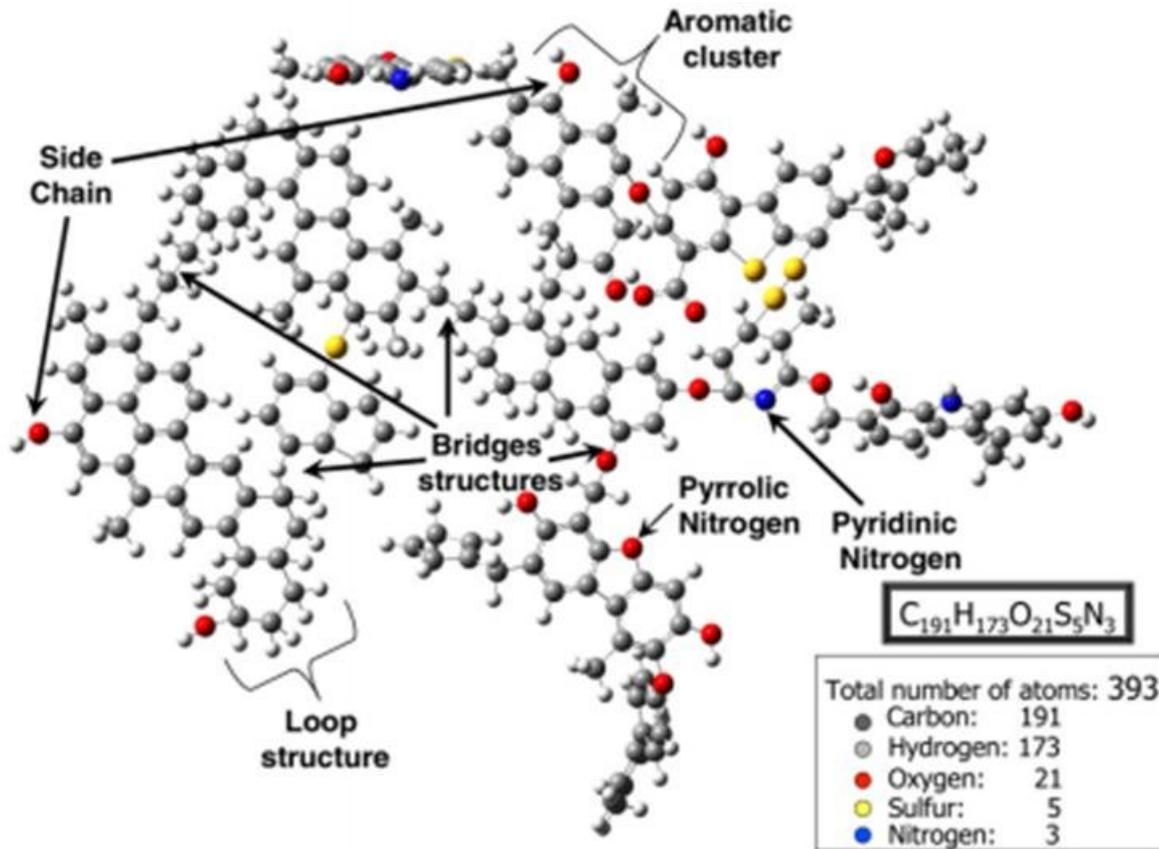


# Структура ФИЦ УУХ СО РАН



## Основные научные направления:

- **Углехимия** (состав, структура, свойства, минеральная часть, выделение органического вещества, гуминовые кислоты и т.д.)
- **Технологии глубокой переработки** (производство металлургического кокса, продукты коксохимии, сжигание, пиролиз, газификация, ожижение, утилизация CO<sub>2</sub>, активированные угли, сорбенты)
- **Углеродные наноматериалы** (топливные элементы, суперконденсаторы, электрические батареи, хранение метана и водорода).
- **Углеродные волокна, композиты.**
- **Метан из угля, гидраты метана, проблемы канцерогенности угольного региона, технологии защиты окружающей среды.**



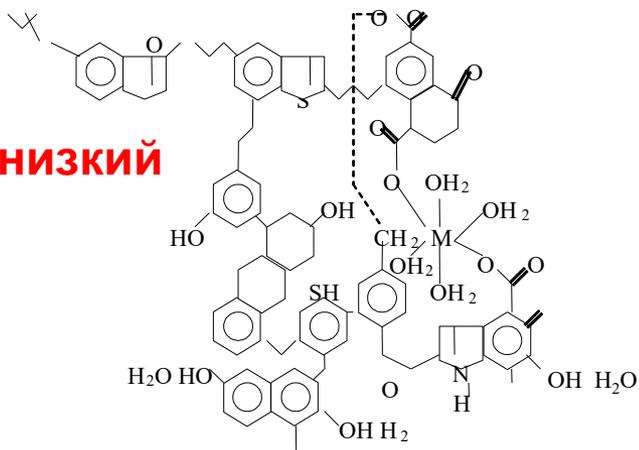
**От сжигания угля к  
глубокой  
переработке.  
Ситуация в мире и  
в России.**



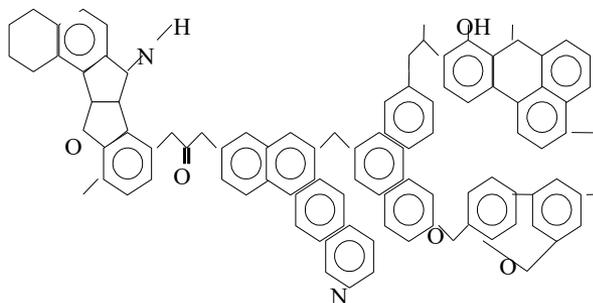
# Химическая структура углей по степени углеродизации

**низкой (А), средней (Б), высокой (В)**

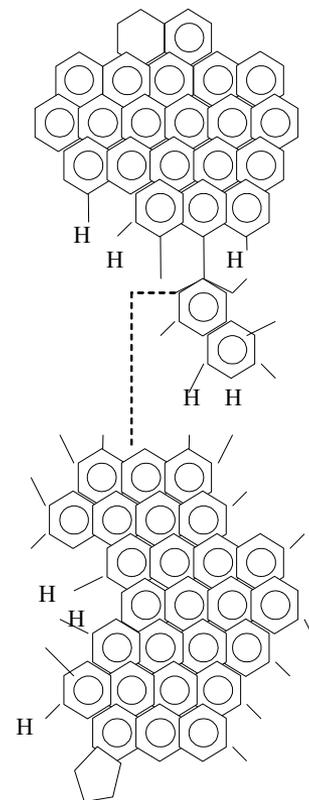
**А- низкий**



**Б - средний**



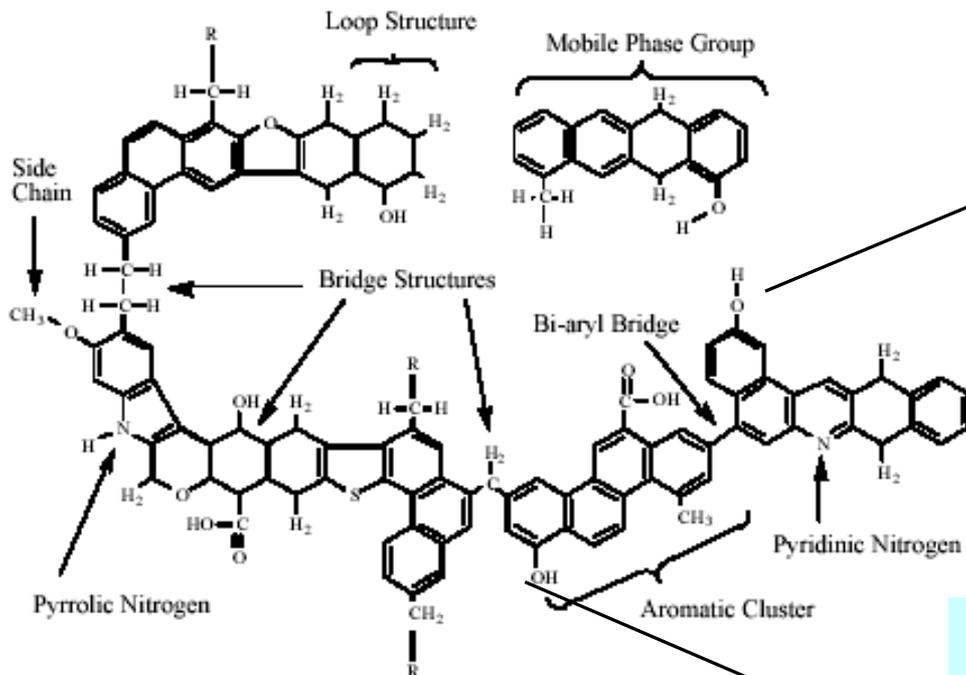
**В - высокий**



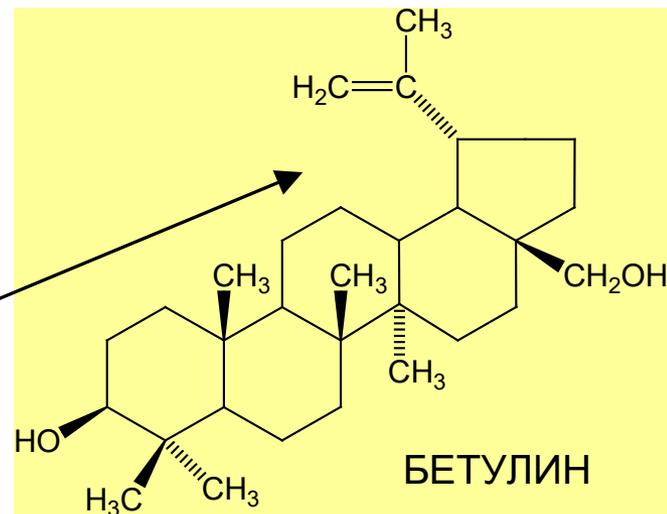
Вид топлива	С, %	О+N, %	Н, %
Дерево	50	44	6
Торф	55-64	39-35	5-7
Бурый уголь	60-75	34-17	4-8
Каменный уголь	78-90	19-4	4-6
Антрацит	94-98	3-1	1-3
Графит	100	-	-



# БОГАТАЯ ХИМИЯ УГЛЕЙ

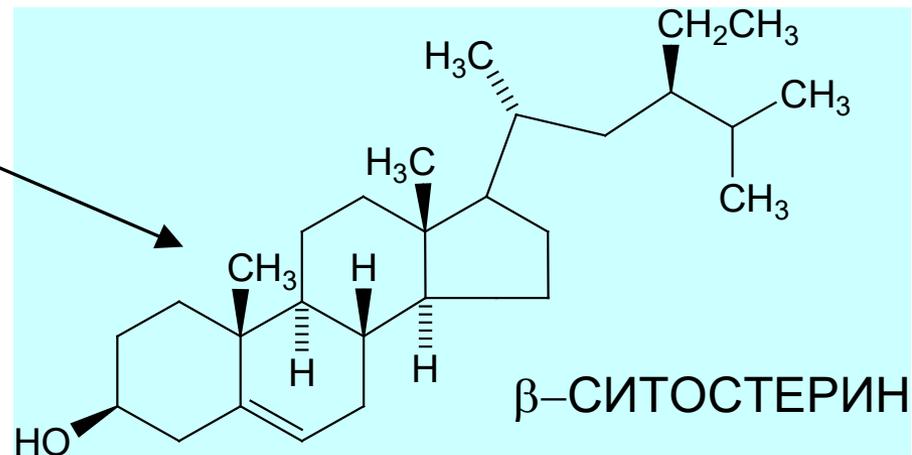


экстракт, содержащий ситостерин, обладает противовоспалительным действием на уровне синтетического преднизолона.



повышает иммунитет растений

бетулиновая кислота обладает противоопухолевой активностью.



# Продукты переработки каменного угля

До 500 продуктов



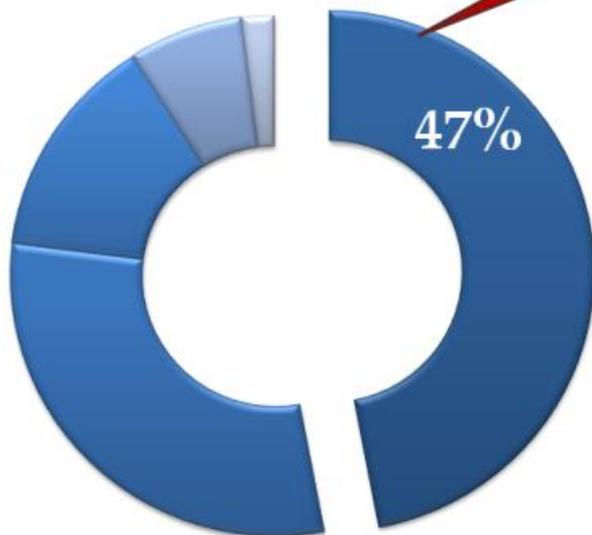
<b>Десятка стран по добыче угля (2018)</b>	
Китай	3550 Мт
Индия	771 Мт
США	685 Мт
Индонезия	549 Мт
Австралия	484 Мт
<b>Россия</b>	<b>420 Мт (441 Мт)</b>
Южная Африка	259 Мт
Германия	169 Мт
Польша	122 Мт
Казахстан	114 Мт

Россия является одним из мировых лидеров по производству и экспорту угля, она занимает **шестое место по объемам угледобычи** после Китая, США, Индии, Австралии и Индонезии (на долю России приходится около 5% мировой угледобычи) и **третье место по экспорту** угля после Индонезии и Австралии



## НЕЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕВОЗОК УГЛЯ

СТРУКТУРА СЕБЕСТОИМОСТИ  
ПРОДАЖ УГЛЯ, %



### ТРАНСПОРТНЫЕ РАСХОДЫ

✓ **30%** бесполезный груз  
(зола, вода)

✓ **47%** - стоимость тарифа  
в стоимости угля

✓ **5000 – 6500 км** – до  
ближайших портов

✓ **в 2,5-4 раза** –  
возможное увеличение  
тарифов РЖД

✓ **ВТО** – унификация  
тарифов

# Потребление угля в Китае

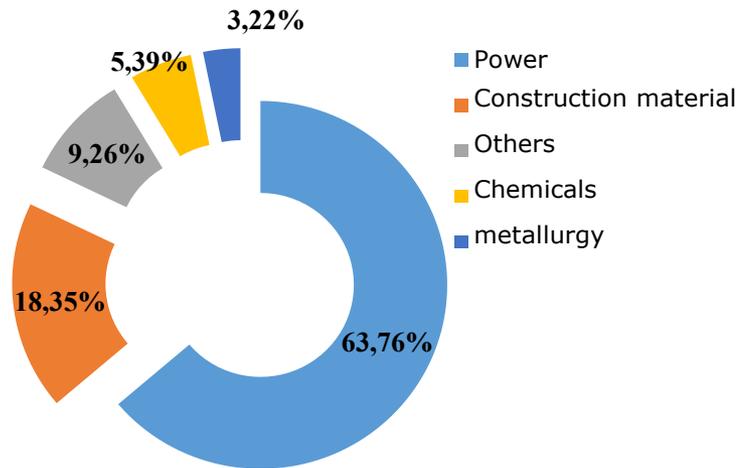


Fig. Coal consumption in China

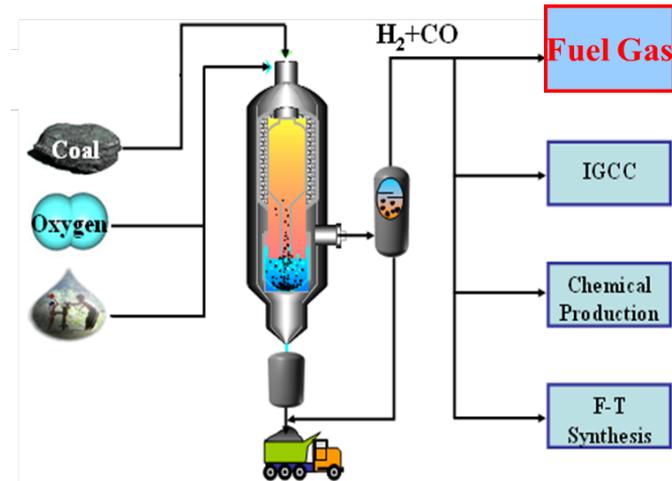
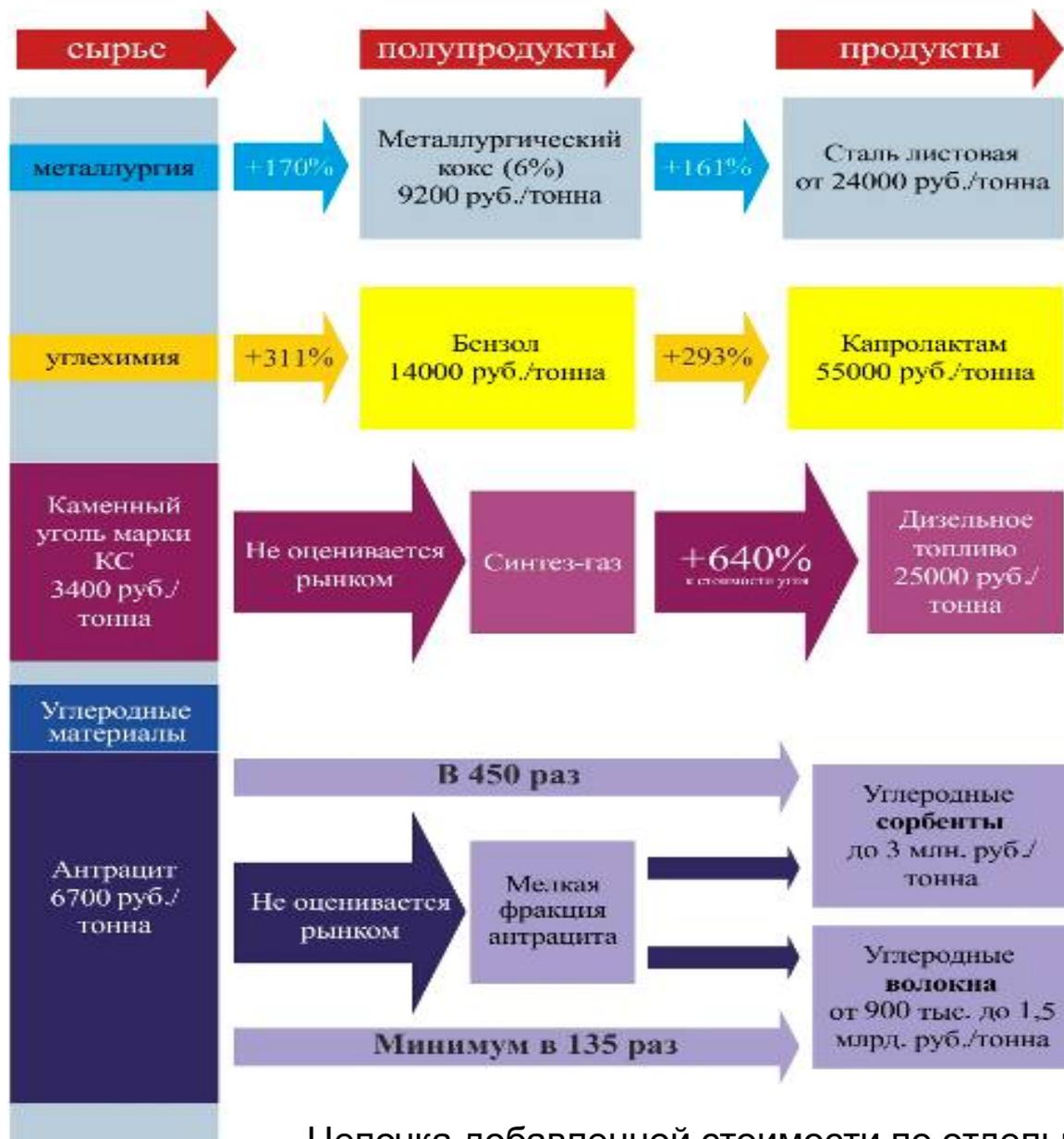


Fig. A Scheme of Coal Chemical Conversion

- Coal is used by combustion to supply power and heat now.
- Coal for coal chemical industry is expected to be 200-300 million ton/a from 150 million/a.
- **Coal gasification is the first step for coal to liquid and coal to chemicals.**



Цепочка добавленной стоимости по отдельным направлениям глубокой переработки угля

УТВЕРЖДАЮ



Президент Российской Федерации

В. Путин

*Вручен*  
23.08.2019.

Пр-1707

**ПЕРЕЧЕНЬ ПОРУЧЕНИЙ**

по итогам встречи Президента Российской Федерации  
с руководителями угледобывающих регионов  
22 августа 2019 г.

1. Правительству Российской Федерации:

4. Минэнерго России при подготовке долгосрочной программы развития угольной промышленности Российской Федерации предусмотреть мероприятия по глубокой переработке угля в регионах его добычи, обратив особое внимание на потенциал развития производства из угля сжиженных газов и водорода.

Срок - 30 сентября 2019 г.  
Ответственный: Новак А.В.



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНЭНЕРГО РОССИИ)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ МИНИСТРА

ул. Щепкина, д. 42, стр. 1, стр. 2,  
г. Москва, ГСП - 6, 107996

Телефон (495) 631-98-58, факс (495) 631-83-64  
E-mail: [minenergo@minenergo.gov.ru](mailto:minenergo@minenergo.gov.ru)  
<http://www.minenergo.gov.ru>

По списку

*30.08.2019 № 75А-9939/11*

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

О мероприятиях по глубокой переработке  
угля в регионах его добычи  
Поручение Президента Российской  
Федерации от 23 августа 2019 г.

Просим представить в Минэнерго России предложения в Программу:

по мероприятиям глубокой переработки угля в соответствии с приложением

№ 3 настоящего письма;

## Предложения ФИЦ УУХ СО РАН:

Необходимо выделить четыре основных направления развития углехимии в Российской Федерации, необходимых для обеспечения национальной безопасности:

1. **газификация угля** с получением продуктов для базовой химии (метанол, олефины, диметиловый эфир, уксусная кислота, этиленгликоль, полиэферы, карбамид, ацетон, пропилен, этилен, полимеры ) и жидкого топлива;
2. **коксохимия с получением товарных продуктов** (пек, бензол, толуол, ксилол, фенол, нафталин, антрацен, фенантрен, крезол, пиридиновые основания сольвент, углеродные волокна и наноматериалы);
3. **экстракционные технологии** извлечения продуктов из бурых и низкокачественных каменных углей с получением ценных продуктов (гуминовые препараты, воски, битумы, поверхностно-активные вещества);
4. **получение углеродных сорбентов и молекулярных сит** различного назначения: очистка питьевой воды, очистка шахтовых вод, разделение и очистка газов, использование в пищевой, химической и фармацевтической промышленности.

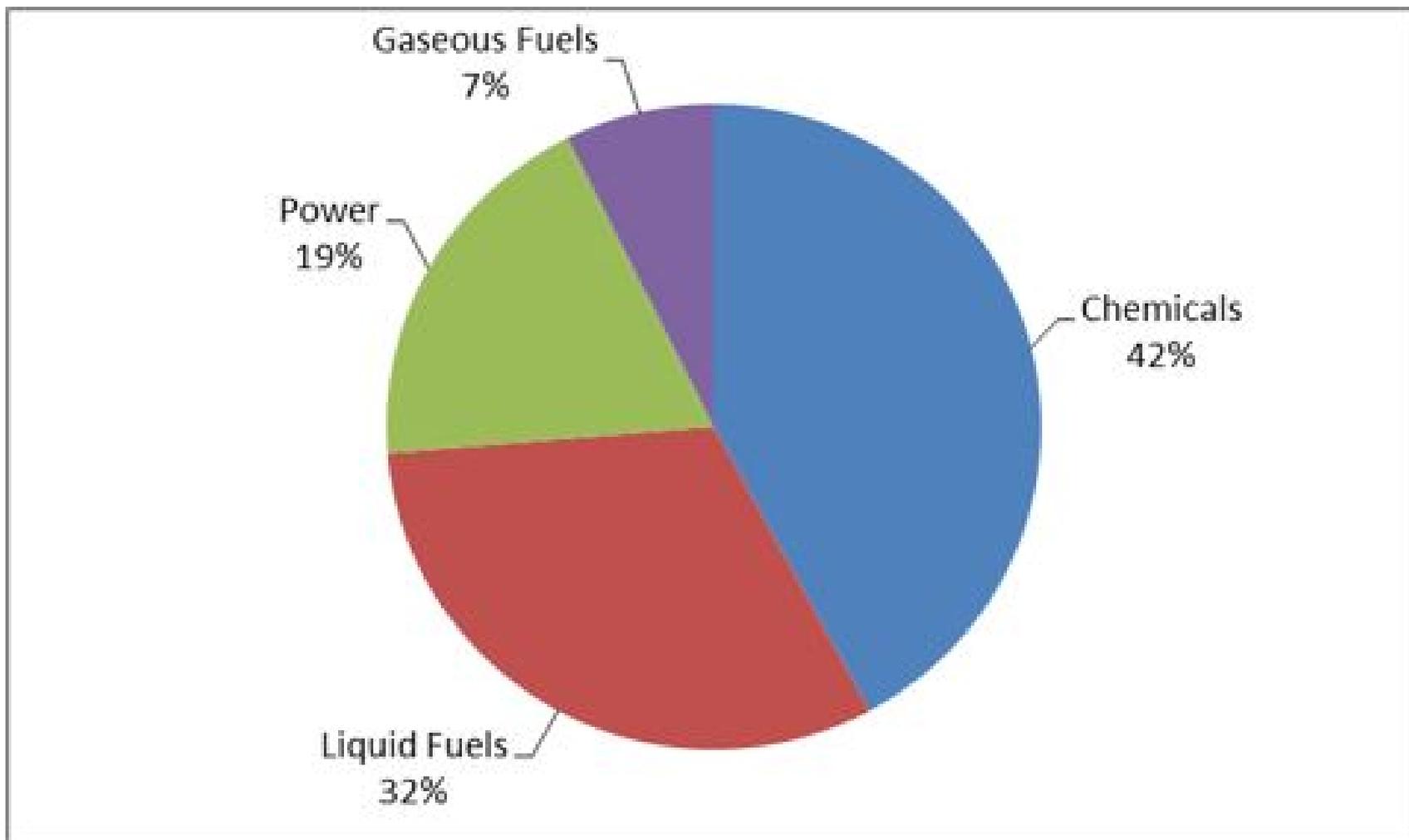
Для развитых стран технология газификации твердых топлив освоена в промышленном масштабе. Большинство действующих в мире газогенераторов разработано фирмами **Lurgi, Winkler, Shell**.

Разработка фирмы **Lurgi** представляет собой осуществление процесса газификации угля в неподвижном слое с применением паровоздушного или парокислородного дутья. Данная технология обширно протестирована, применяется на одном из крупнейших углеперерабатывающих предприятий «Sasol» в ЮАР, **газификация происходит под давлением**, следовательно, имеется экономия расходов, состав газа получаемого по этой технологии зависит от уровня температур. При **паракислородном дутье** получается газ, содержащий: 58 % CO, 6 % CO<sub>2</sub>, 26 % H<sub>2</sub>, 9 % CH<sub>4</sub> и 1 % N<sub>2</sub>

Промышленно освоенными технологиями газификации являются процессы **Winkler (газогенераторы кипящего слоя)**, реакция происходит при атмосферном или повышенном давлении (1...3 МПа) и в зависимости от целей, степень газификации углерода достигает 85–90.

Технология **Shell** является наиболее выгодной, отвечающей высоким экономическим и экологическим стандартам технологий, использующей традиционную для пылеугольных котлов систему размола и имеющей возможность использования смеси угля и биомассы. Во всем мире насчитывают около 85 газогенераторных установок, основанных на технологии Shell.

*В методе Тексако* (ТЭС с ПГУ Cool Water, США) газифицируется водо-угольная суспензия, на парокислородном дутье под давлением 4,2 МПа в факеле.



## Мировой рынок синтез газа

# Синтетического жидкое топливо из угля

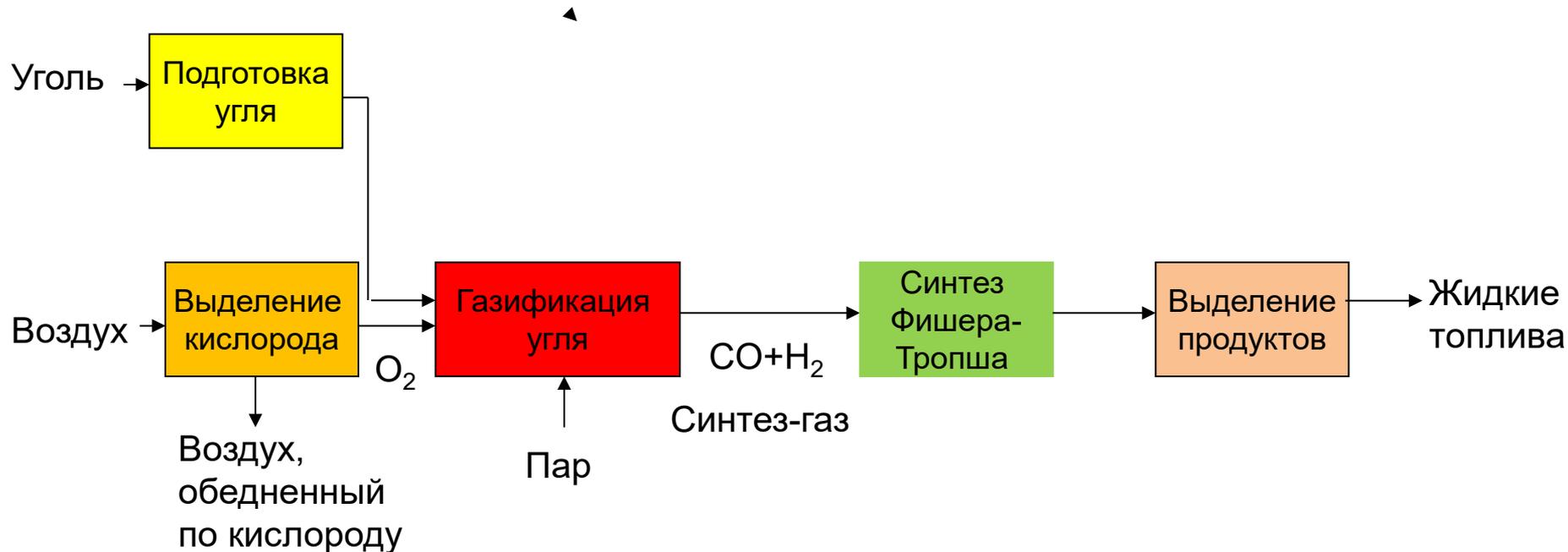
Для превращения углей в СЖТ необходимо:

1. удалить из них золу,
2. уменьшить мол.массу, превратив твердое орг. в-во в жидкое,
3. обогатить его водородом и удалить из него кислород, азот и серу в виде  $H_2O$ ,  $NH_3$  и  $H_2S$ .

Способы получения СЖТ

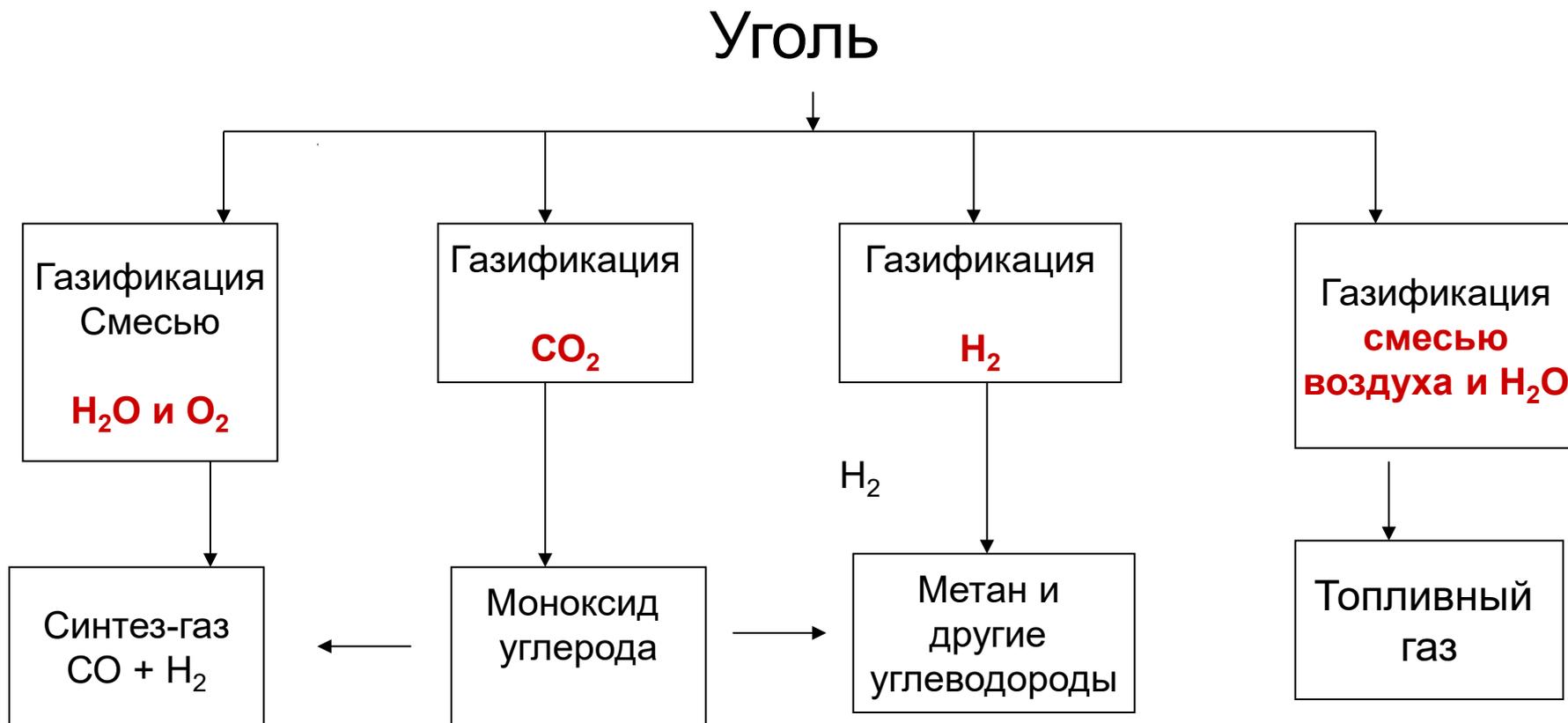
1. Непосредственное ожижение угля путем каталитической гидрогенизации  
Уголь+ Водород ( $H_2$ )  $\rightarrow$  Линейные и циклические углеводороды( $C_xH_y$ )
2. Газификация с последующим синтезом моторных топлив из синтез-газа
  - а) газификация: Уголь + Кислород + Пар  $\rightarrow$  Синтез-газ ( $H_2 + CO$ )
  - б) синтез Фишера-Тропша:  $H_2 + CO \rightarrow$  линейные углеводороды ( $C_xH_y$ )
3. Гибридный метод, включающий стадии процессов 1 и 2.

# Получение СЖТ путем газификации с последующим синтезом моторных топлив из синтез-газа



В результате получают дизельное топливо с высоким цетановым числом, авиационное топливо и бензин с низким октановым числом

# Процессы газификации угля



# Коммерческие технологии газификации углей

Shell



Prenflo (Uhde)



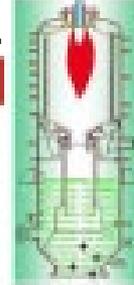
Siemens (GSP)



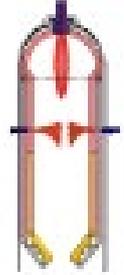
Clean Coal Gasifier (Choren)



HT-L



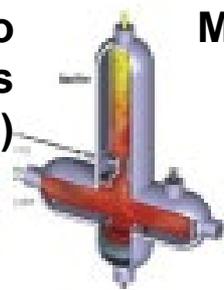
Tsinghua 2-stage-oxygen



GE Energy (Texaco)



Conoco Philips (E-Gas)



Mitsubishi (MHI)



TPRI 2-stage-coal



OMB (East China Univ.)



Подвижный слой

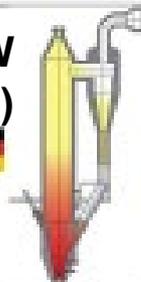
Sasol-Lurgi dry ash



BGL (Enviro-Therm)



HTW (Uhde)



U-Gas (GTI)

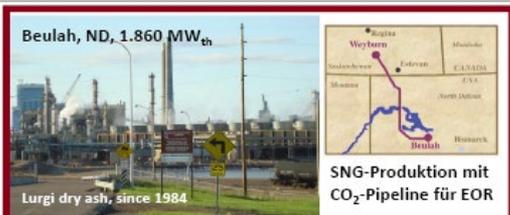


Неподвижный слой

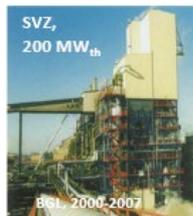
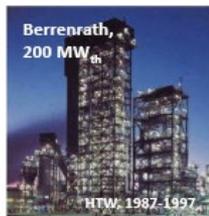
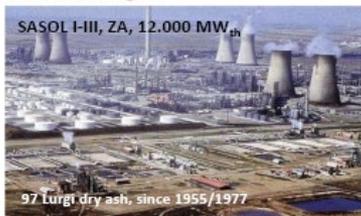
Кипящий слой

# Мировой объем производства синтез-газа и планируемый ежегодный рост производства

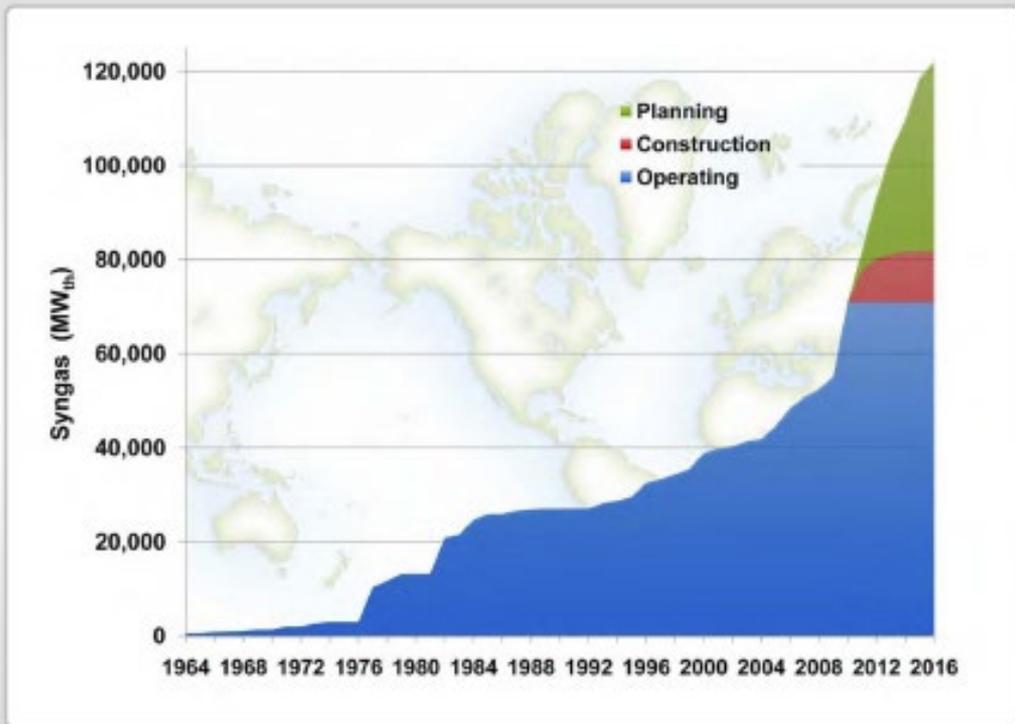
## Examples for existing coal based chemical plants



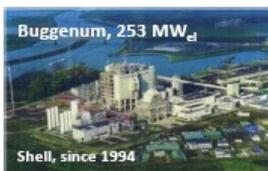
### Utilization of Lignite



## Worldwide Gasification Capacity & Planned Growth Cumulative by Year



## Examples for existing coal based IGCC power plants

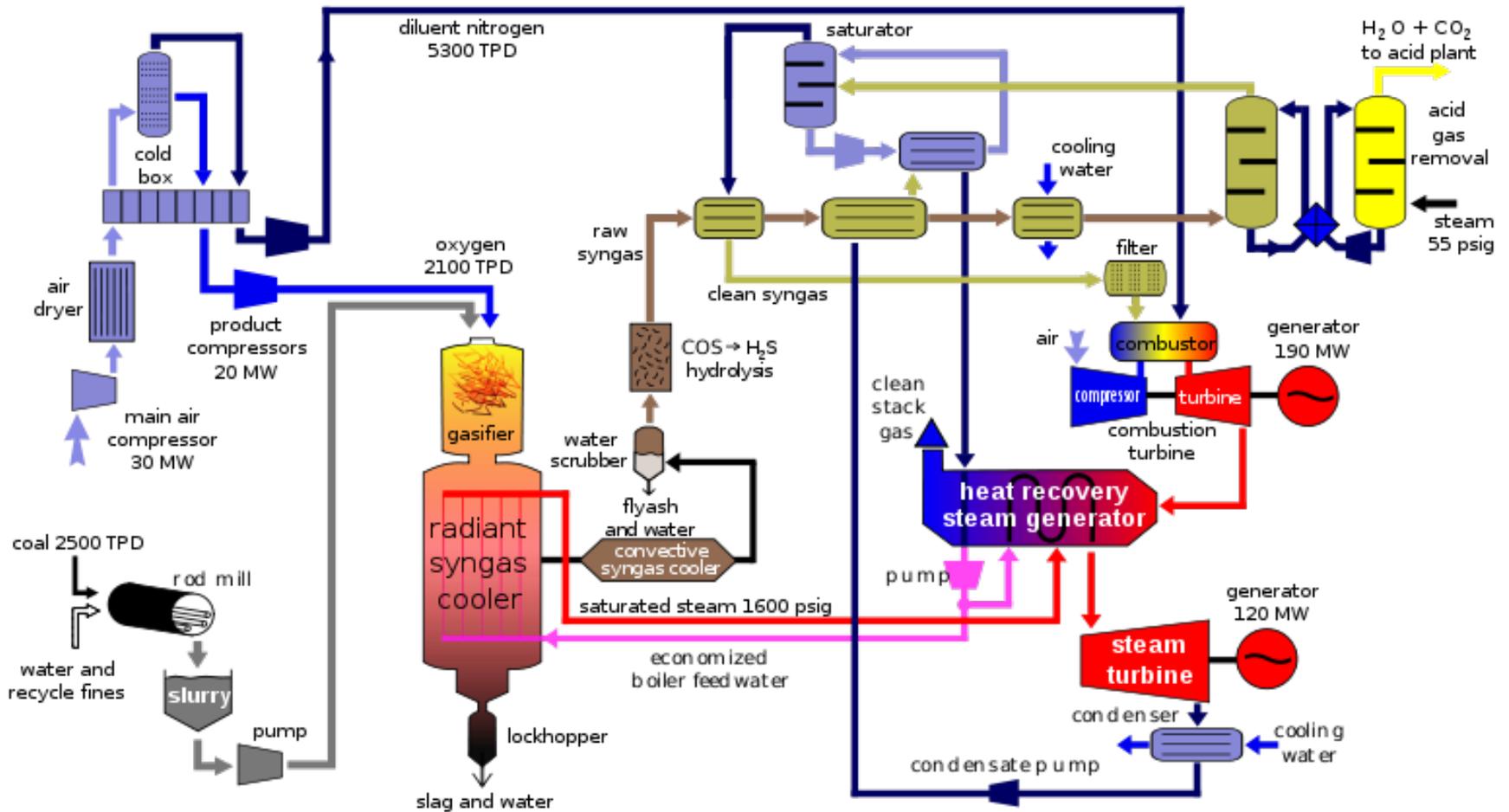


### Utilization of Lignite

# Pet Coke Gasification to $H_2$ and $CO_2$ for Ammonia and Urea

Farmland Industries, Coffeyville, Kansas

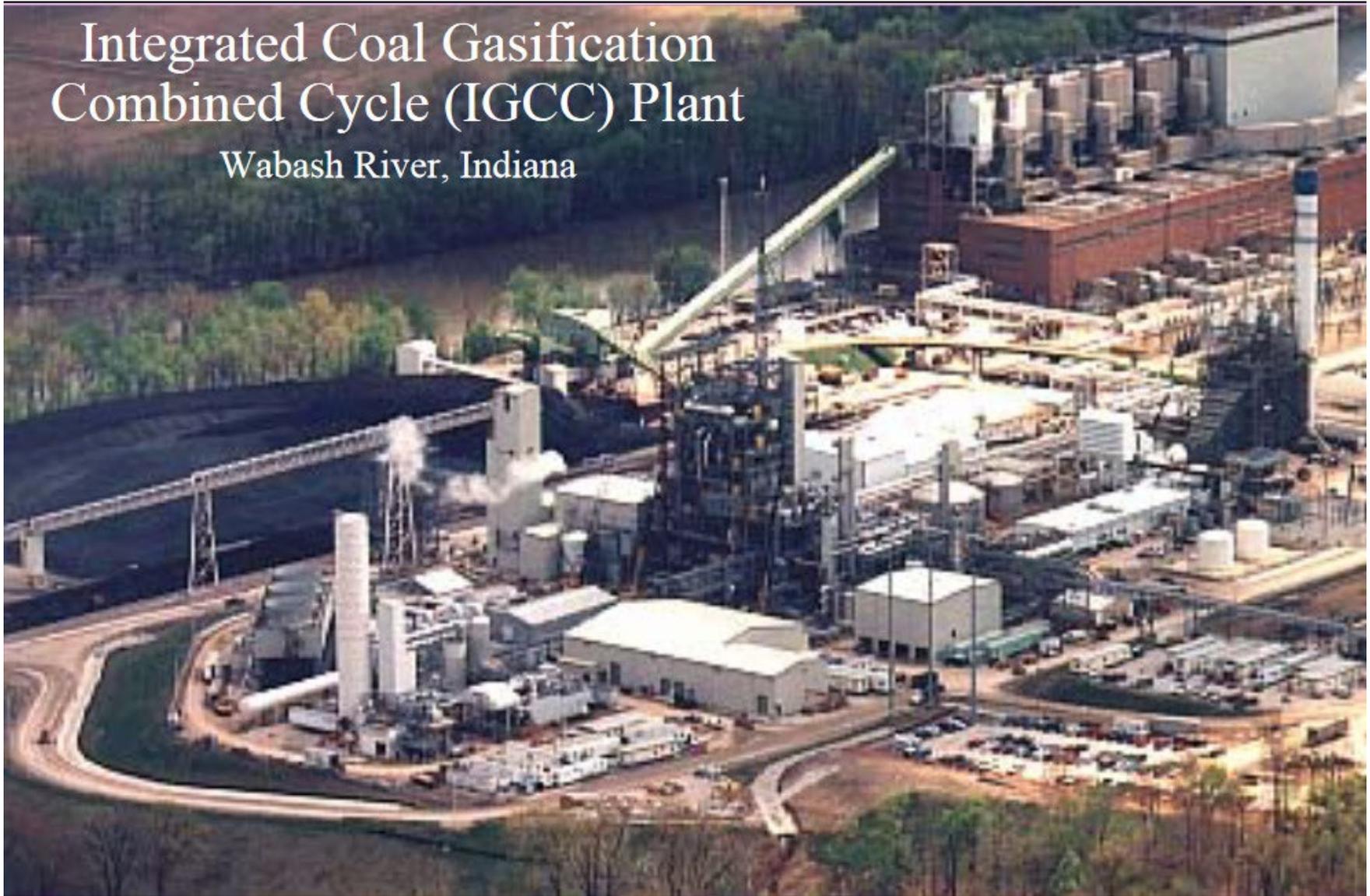




Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC)

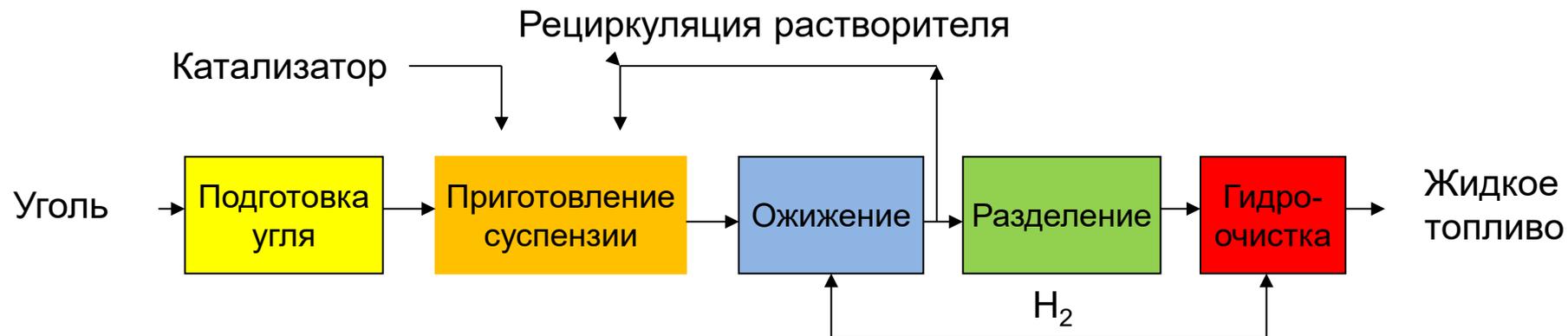
# Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC) Plant

Wabash River, Indiana



Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC)

# Непосредственное ожижение угля путем гидрогенизации



Процесс основан на растворении угля в органическом растворителе при высокой температуре 430-480°C и давлении 10-70 МПа и каталитическом гидрокрекинге угля под воздействием водорода.

В процессе используются катализаторы на основе Fe, Mo, Ni-Mo или Co-Mo

Выход жидких топлив достигает 70%.

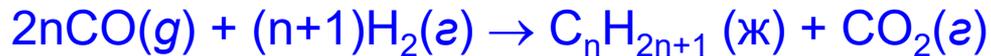
Основной вид получаемого топлива - бензины с высоким октановым числом

# Синтез Фишера-Тропша

проводится при  $t = 160-300^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1,0-2,5 \text{ МПа}$ .

Используются катализаторы на основе Co или Fe

На Co катализаторах образуются главным образом парафины

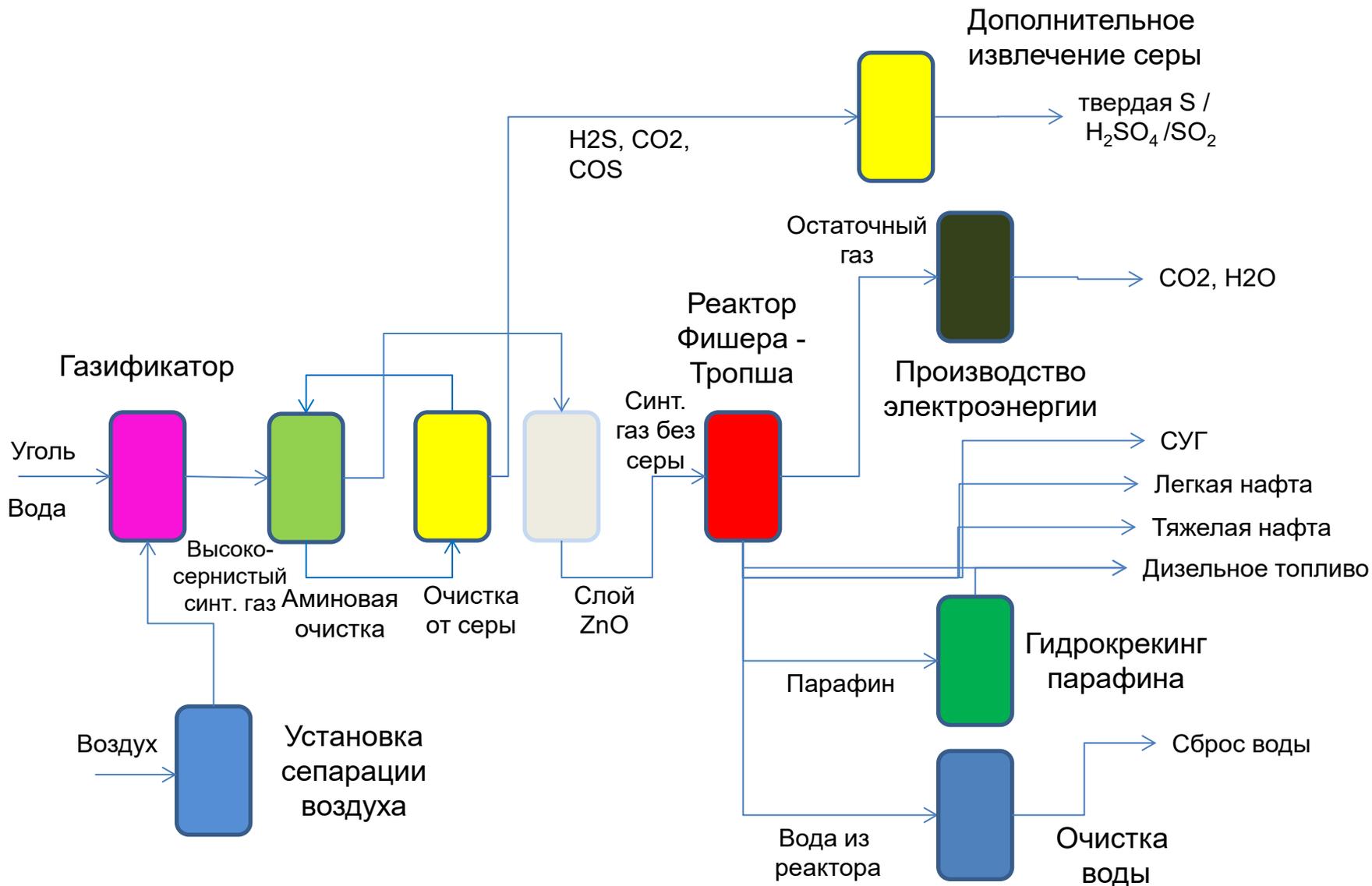


На Fe катализаторах образуются преимущественно олефины



Продукты синтеза ФТ представляют собой набор газообразных  $\text{C}_1$ - $\text{C}_4$ , жидких и твердых веществ. Твердые продукты представляют собой синтетический парафин.

# Обзор процесса CTL



# Производство химических продуктов через ГАЗИФИКАЦИЮ угля

CTL (coal-to-liquid), уголь в моторные топлива

Прямое превращение - direct CTL (DCTL),

Непрямое превращение - indirect CTL (ICTL)

Метанол в бензин - methanol-to-gasoline (MTG)

Для 1 тонны жидкого топлива - 6 тонны угля

Для 1 тонны метанола – 3 тонны угля

coal-to-DME (dimethyl ether), - диметиловый эфир

CTO (coal-to-olefins), - олефины

SNG (coal-based synthetic gas), – синтез газ

CTMEG (coal-to ethylene glycol), - этиленгликоль

# Получение СЖТ через стадию получения метанола

## Процесс MTG

Метанол получают из синтез-газа на катализаторе

$\text{ZnCr}_2\text{O}_4$  при  $t = 350^\circ\text{C}$ ,  $p = 25$  МПа

или на катализаторе Cu-Zn-Cr при  $t = 250^\circ\text{C}$ ,  $p = 5-10$  МПа



Жидкое топливо из метанола получают на цеолитных катализаторах

Процесс **MTG – methanol to gasoline (Exxon Mobil)**

Преимущество процесса MTG – высокий выход (85-90%) бензина в высоким октановым числом (92-92,5).

Промышленная установка в Новой Зеландии производительностью 1700 тонн в день - запущена в эксплуатацию еще в 1985 году.

# Мировые тенденции. Неэнергетическое использование

## Промышленная углехимия в Китае

Строящиеся демонстрационные установки углехимии большой мощности

- **Метанол, Диметиловый эфир**
- 3 млн. т. ДМЭ ( Zhongtian Hechuang Energy Co)
- 1,8 млн.т. Уголь в метанол и 1 млн.т. ДМЭ (Shaanxi Binchang Mining Group)
- 1,5 млн.т. метанол и 1 млн.т. ДМЭ ( Shanxi Lanhua Sci-Tech Venture)
- 1 млн.т. метанол и 1 млн.т. ДМЭ ( Sichan Chemical Industry Holding)
- 1,8.млн.т. Уголь в метанол и 100 тыс.т. ДМЭ (Jiutai Energy Inner Mongolia)
  
- **Олефины**
- 600 тыс. т. (Shenhua Charcoal Chemical Industry Co)
- 520 тыс. т. (Shenhua Ningxia Coal Industry Group)
- 460 тыс.т. (Datang Dualun)

- **Ожижение угля**
- Прямое ожижение угля (Shenhua Group)
- 160 тыс. т. синтетический нефть (Synoil) из угля ( Shanxi Luan Group)
- 160 тыс. т. синтетический нефть из угля ( Inner Mongolia Yitai Group)
- 180 тыс. т. синтетический нефть из угля ( Shenhua Coal Liquification Corporation)
  
- **Уголь в метан**
- 10 млрд. куб. м. ( Xinkuang Group)
- 5 млрд. куб. м. ( Xinkuang Quinghua Group)
- 4 млрд. куб. м. ( Datang Keshi Keteng Banner)
- 2 млрд. куб. м. ( Shenhua Group Eerduosi)
  
- **Производство гликолей из угля**
- 200 тыс. т. ( Tongjiao Golden Coal Chemical Industry Co.)
  
- **Комбинированные углехимические производства**
- 1) 2 200 тыс.т. гликолей & 2 200 тыс. т. гидрирование пеков ( Inner Mongolia Kailuan Coal Chemicals)
- 2) 5,58 млн.т. кокса, 600 тыс. т. метанола , 130 тыс. т. сажи и 100 тыс. т. бензола ( Shaanxi Longmen Coal Chemical Co.)

# Планируемые большие проекты

- 5 млн.т. метанол, 1.7 млн.т.олефин и 1.5 млн.т. хлороалканы (Anglo-American)
- 3 млн.т. метанол, 1 млн.т.олефин (Shenhua Group and Dow Chemical)
- 3.6 млн.т. метанол (CNOOC)
- 3 млн.т. метанол,(Huadin Coal Industrial Group)
- 1,5 млн.т. метанол и 1 млн.т. диметиловый эфир (Jiutai Energy Inner Mongolia)
- 4,2 млн.т. метанол и 3 млн.т. диметиловый эфир (Zhongtian Hechuang Energy)
- 4 млрд куб. м. Coal to Natural Gas (CNOOC and Dalong Coal Mine Group)
- 4 млрд куб. м. Coal to Natural Gas (Datng Int'l Fuxin Co)

# Проекты и заводы CTL

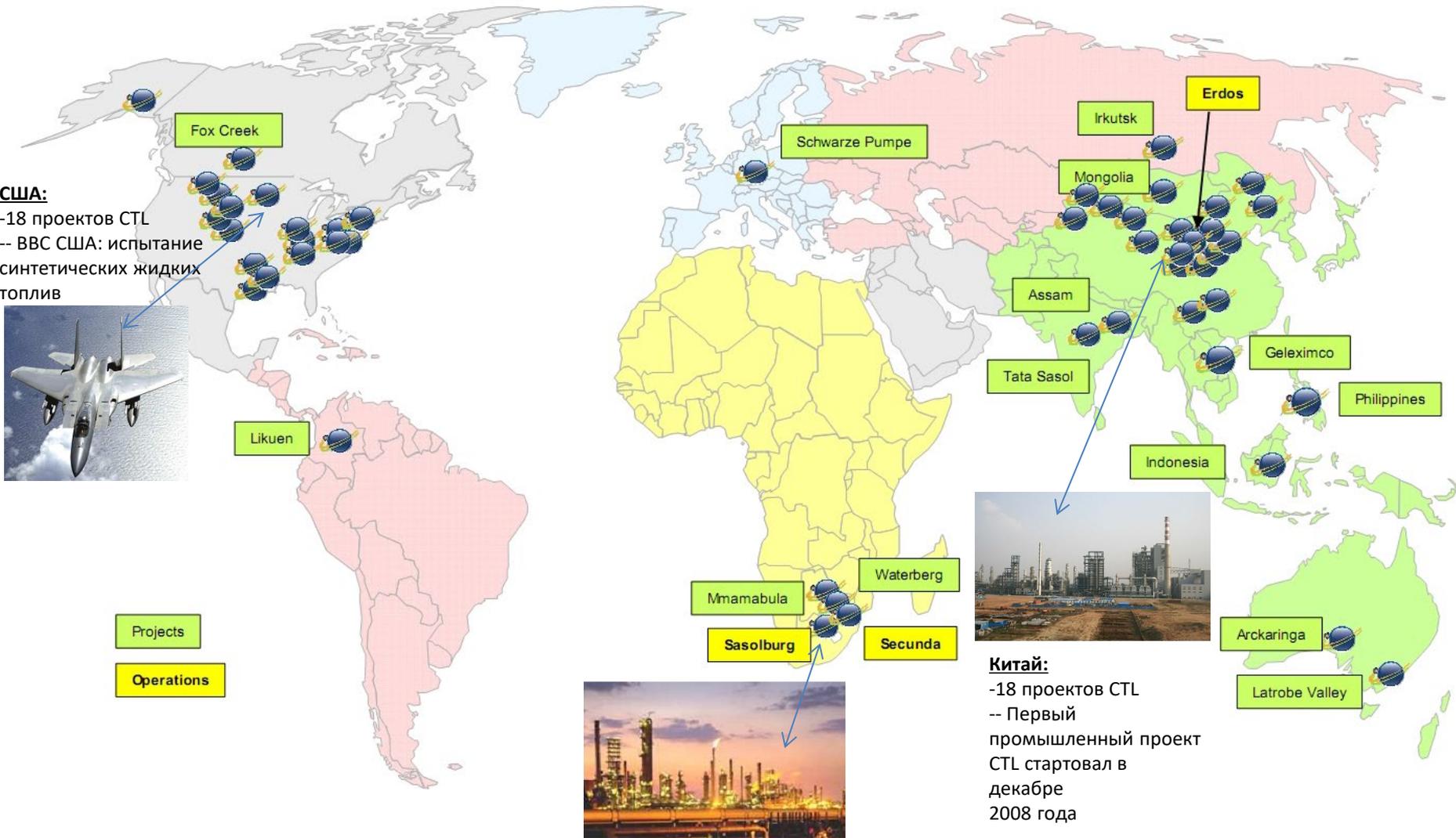
## США:

-18 проектов CTL  
-- ВВС США: испытание синтетических жидких топлив



Projects

Operations



## Китай:

-18 проектов CTL  
-- Первый промышленный проект CTL стартовал в декабре 2008 года

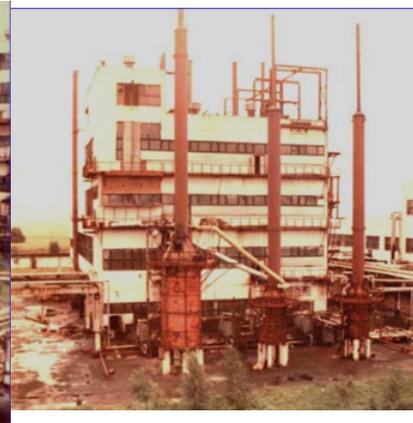
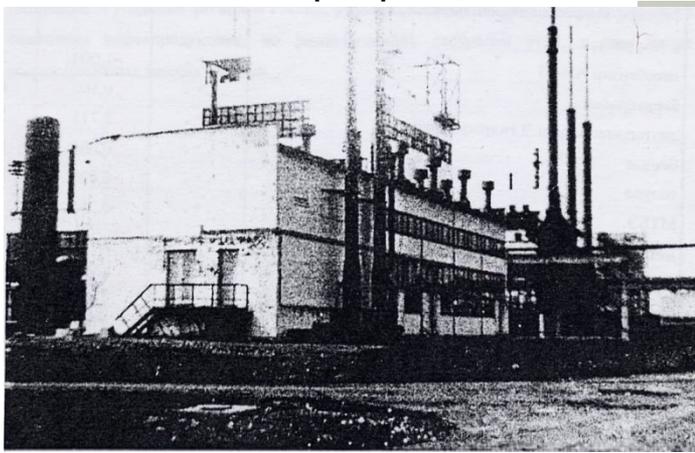
## ЮАР:

30% жидких топлив производится из угля

## Отечественный опыт разработки технологий получения СЖТ из угля

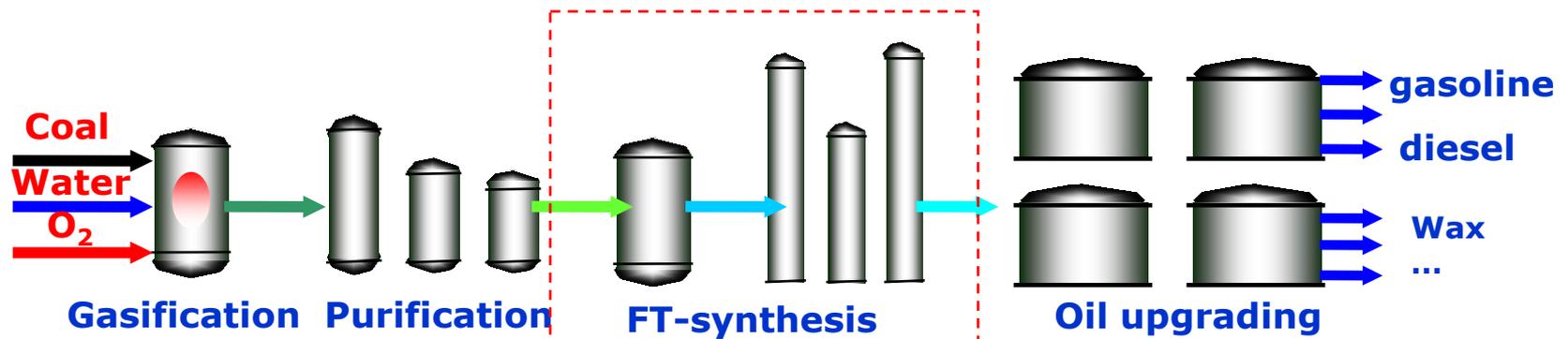
Институтом горючих ископаемых созданы научные основы отечественной технологии глубокой переработки углей с получением СЖТ (прямое ожижение и газификация). В Тульской области был сооружен и длительное время эксплуатировался Опытный завод СТ-5.

- ❖ Завод СТ-5 с установками по подготовке угля и получению углемасляной пасты, жидко-фазной гидрогенизации пасты, дистилляции жидких продуктов, переработки шлама и регенерации катализатора, гидроочистки жидких продуктов, каталитического риформинга и гидрокрекинга, а также резервуарного парка, электролизной установкой для производства водорода и кислорода, очисткой водородсодержащего газа методом коротко-цикловой адсорбции и другими сооружениями, прообраз промышленного предприятия.
- ❖ В середине 80-х годов было начато строительство опытно-промышленной установки прямого ожижения угля СТ-75 в г. Шарыпово Красноярского края на борту разреза Березовский. В 1992 г. В связи с прекращением финансирования строительство и монтаж были прекращены.



Опытный завод СТ-5, г. Венев, Тульская область

# Indirect conv. of coal to oil on Fe-based catalyst



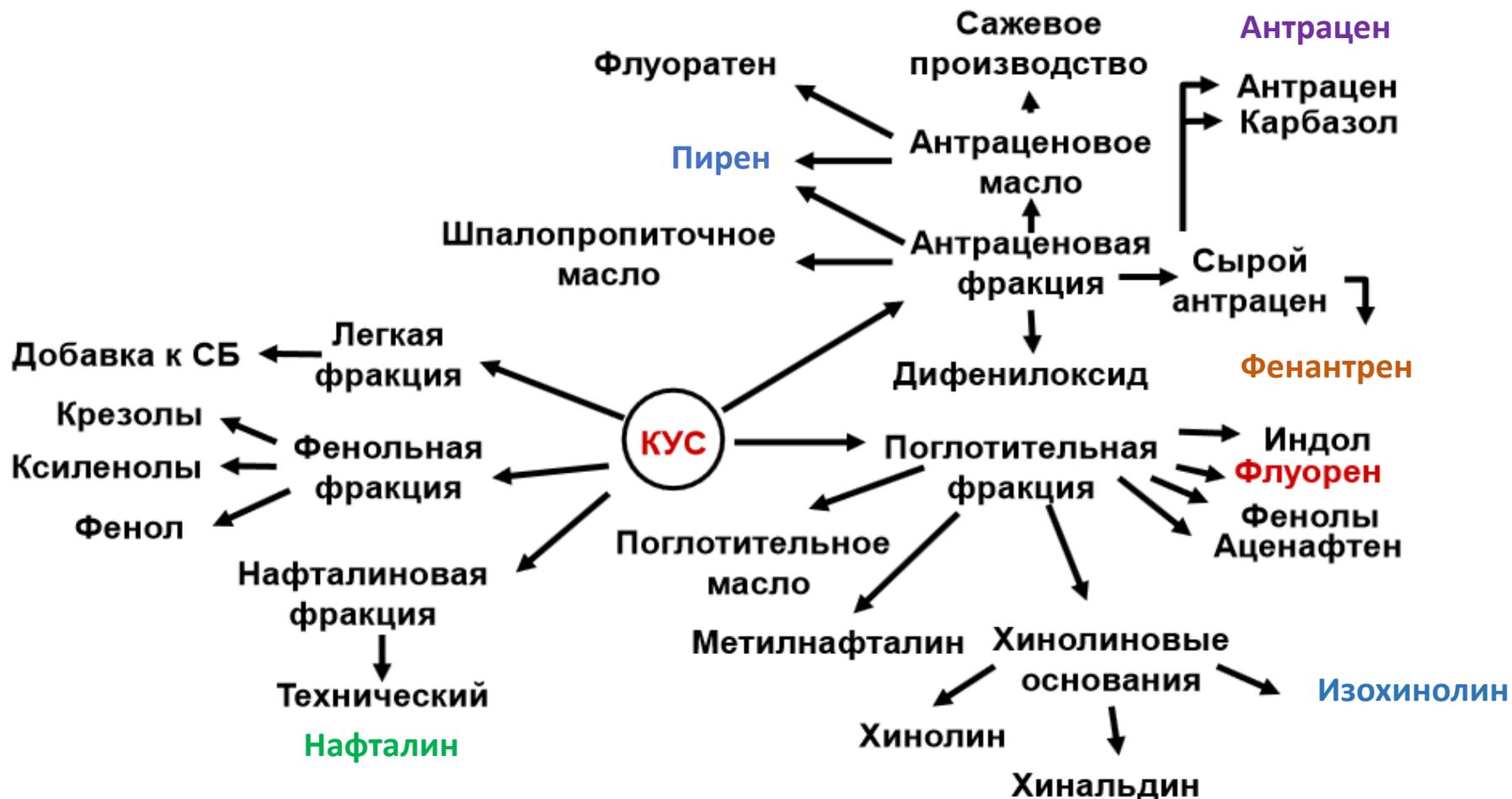
- In 2016, a 4 Mt/a Coal-to-Liquid project has been industrialized in Shenhua (Ningxia) Coal Group by using SKLCC technology
- $CH_4$  selectivity < 5%, 6 t water/t oil, energy efficiency,  $\approx$  43-45%
- In China, totally 6.5 Mt/a coal-to-liquid productivity

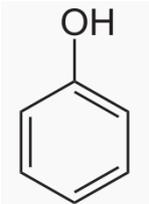
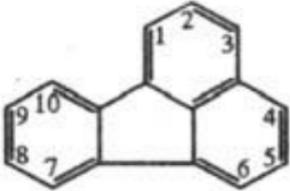
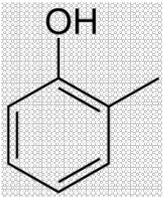
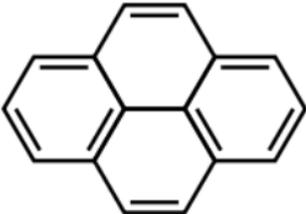
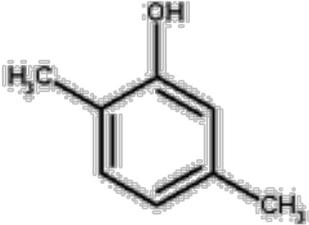
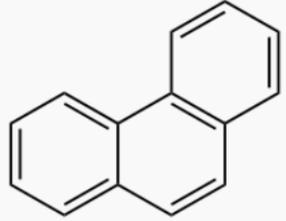
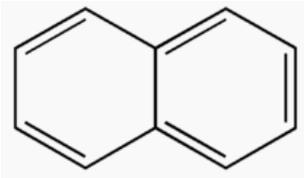
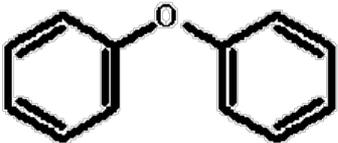
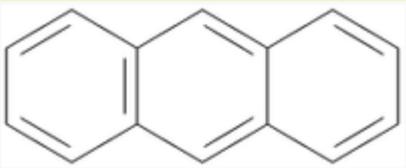
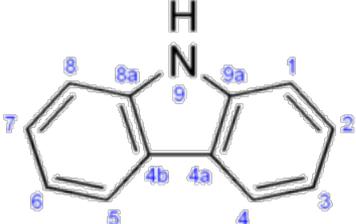
**КОКСОХИМИЯ**

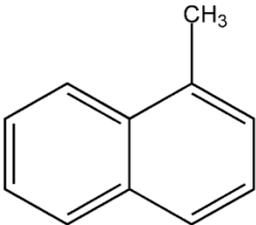
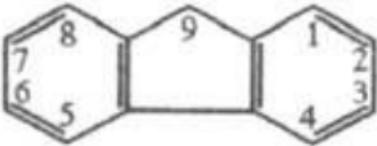
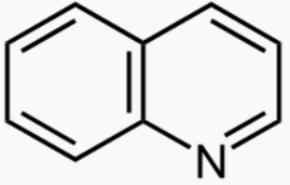
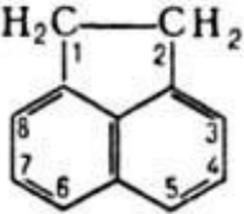
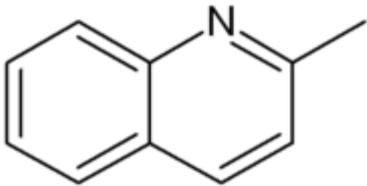
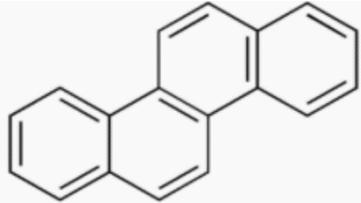
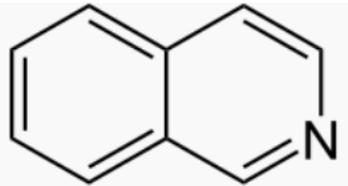
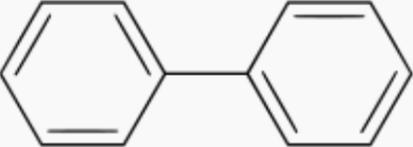
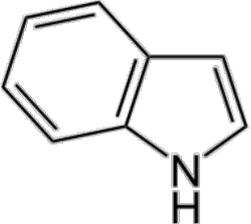
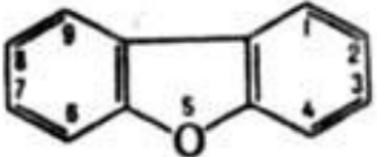
**ХИМИЯ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ  
СМОЛЫ И ПЕКА**

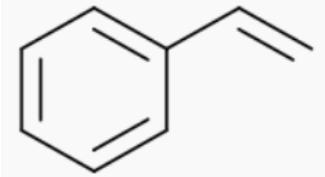
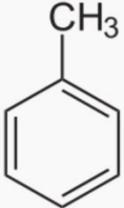
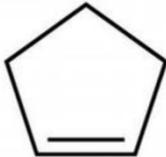
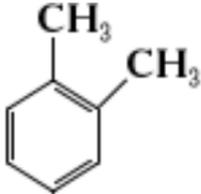
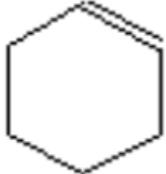
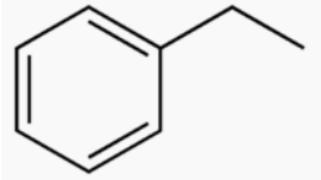
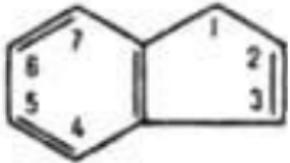
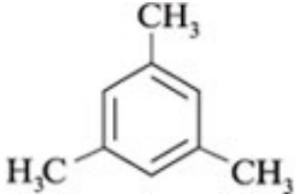
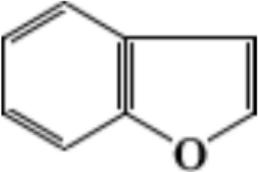
## Схема переработки фракций каменноугольной смолы.

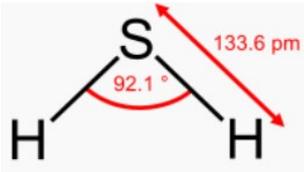
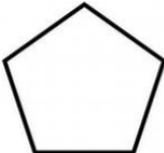
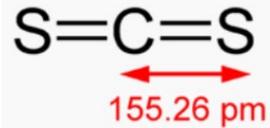
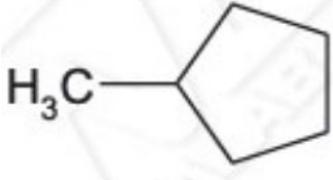
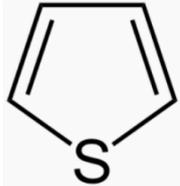
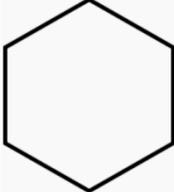
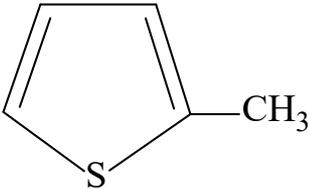
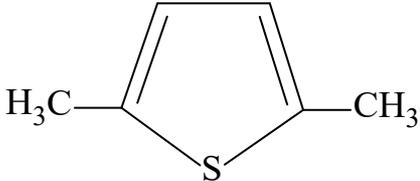
Идентифицированы более 250 основных соединений.



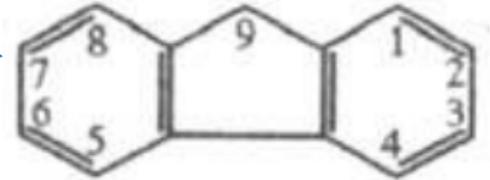
Фенол		Флуорантен	
Крезолы		Пирен	
Ксиленолы		Фенантрен	
Нафталин		Дифенилоксид	
Антрацен		Карбазол	

Метилнафталин		Флуорен	
Хинолин		Аценафтен	
Хинальдин		Хризен	
Изохиналин		Дифенил	
Индол		дифенилено ксид	

Бензол		Стирол	
толуол		ЦИКЛОПЕНТЕН	
КСИЛОЛЫ		ЦИКЛОГЕКСЕН	
ЭТИЛБЕНЗОЛ		ИНДЕН	
ТРИМЕТИЛБЕНЗОЛ		кумарон	

Сероводород		Циклопентан	
сероуглерод		метилциклопентан	
тиофен		циклогексан	
метилтиофен		гексан	
диметилтиофен		гептан	

Применение **флуорена**  
в микроэлектронике и оптоэлектронике



**Electronic characteristics of fluorene/TiO<sub>2</sub> molecular heterojunctions**

**Electronic memory device based on a single-layer fluorene-containing organic thin film**

**Evaluation of Fluorene Polyester Film Capacitors**

**Photo-curable fluorene derivative and composition containing the same**

**Optoelectronic properties of poly(fluorene) co-polymer light-emitting devices on a plastic substrate\***

Today, active-matrix organic light-emitting display (AMOLED) technology is considered as the next-generation flat-panel display (FPD) technology for a large number of applications requiring different sized displays.

Европейские нефтехимические и углехимические компании, всего 421, в настоящее время объединены в Германское научно-техническое общество нефти и угля (**DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.**).

Предприятия углехимической специализации объединены в специальную группу (**Coal Chemicals Sector Group (CCSG)**) и в составе Европейской Ассоциации нефтехимических производителей (**The Association of Petrochemicals Producers in Europe (APPE)**), которая в свою очередь входит в объединение Европейской химической промышленности (**The European Chemical Industry Council (Cefic)**).

Основными участниками этой группы (**Coal Chemicals Sector Group**) являются производители химической продукции из каменноугольной смолы

**RÜTGERS Chemicals GmbH** (8 заводов)

<http://www.ruetgers-chemicals.de>

**Koppers** (13 заводов)

<http://www.koppers.com/>

**Bilbaina de ALQUITRANES**

<http://www.bilbaina.com/>

**Industrial Química del Nalón S.A.**

<http://www.nalonchem.com>

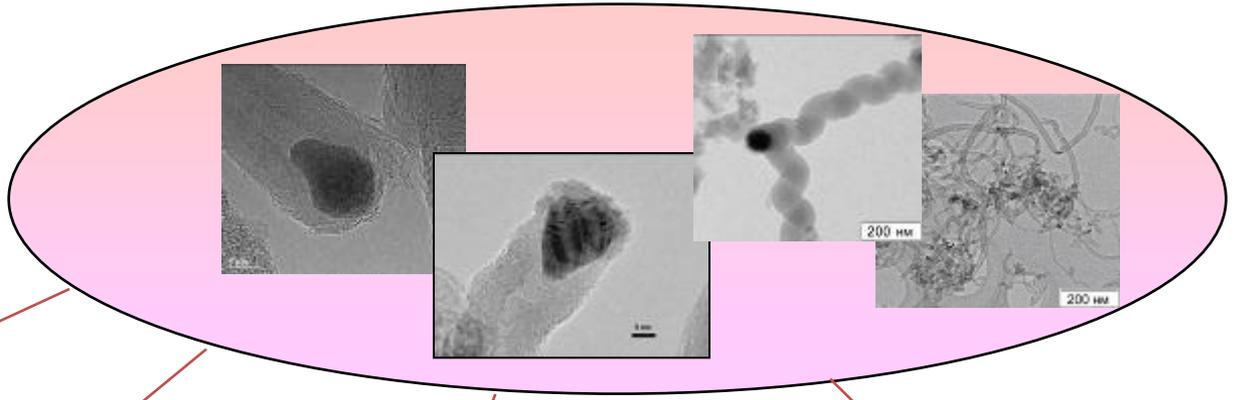
**DEZA**

<http://www.deza.cz>

Мощность этих фирм по перерабатываемой каменноугольной смоле составляет от 500 тысяч до миллионов тонн в год. Базовая технология включает как атмосферную, так и вакуумную дистилляцию смолы с получением каменноугольного пека (до 50%) и индивидуальных дистиллятов: нафталин (10%), фенантрен (4,5%), антрацен (1,3%), карбазол, фенол, бензол, крезолы, ксилолы и др.

# 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

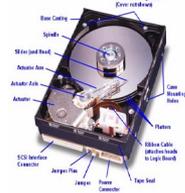


Шланги

### Электроника



Контейнеры для хранения полупроводниковых материалов

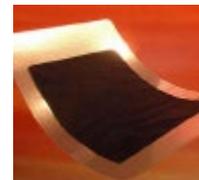


Компоненты жестких дисков

### Топливные элементы



Биполярные пластины



Носители электродных катализаторов

### Авиация, космос



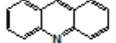
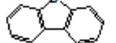
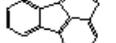
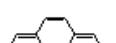
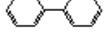
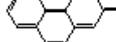
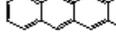
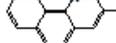
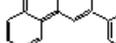
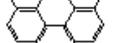
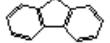
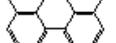
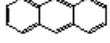
Композиционные материалы



Композиционные материалы



Проводящие адгезионные материалы

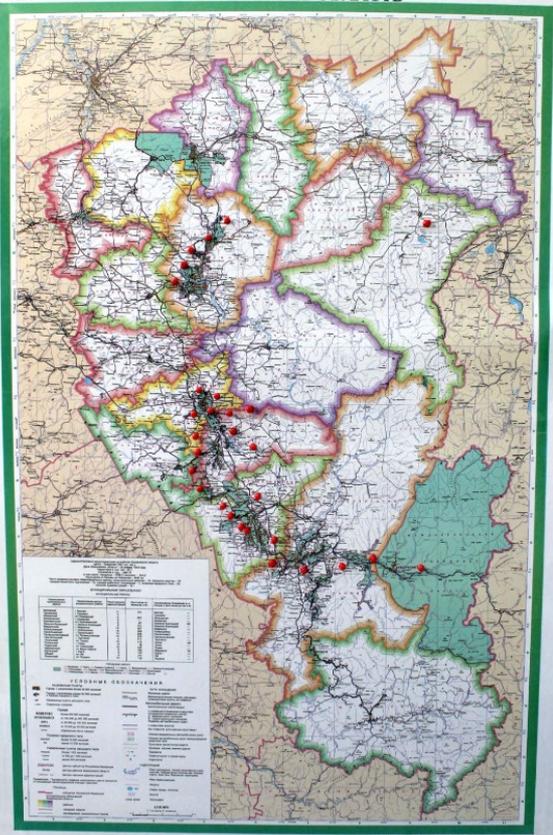
Name	RN	Purity (%)	Price (RMB/g)	Name	RN	Purity (%)	Price (RMB/g)
	1	99	0.11		3	97	49.89
	1	99	0.28		3	99	269.57
	1	99	1.06		4	98	10.71
	1	99	14.52		4	99	18.17
	2	99.5	0.40		5	96	2321.28
	2	99	1.37		5	99	2707.38
	2	98	4.31		5	99	26301.60
	2	99	85.97		5	99	73148.40
	3	99	6.40		6	98	41850.90
	3	98	6.52		6	99	402216.00
	3	99.5	14.71		7	99	16848.00
	3	99	15.90				

Prices of some aromatics from Aldrich Company

Dibenzopyrene is ca. 4 million times more expensive than benzene.

e.g.,

The aromatics with more rings and heteroatom are more expensive. In fact, all the compounds in the Table can be obtained from catalytic hydrocracking of coals



# Впервые в России создан банк углей Кузбасса Банк содержит 105 проб углей и пополняется

Номенклатура образцов включает угли следующих предприятий:

*ОАО «Угольная компания «Северный Кузбасс», ООО «Кокс-Майнинг», ОАО ХК «СДС-Уголь», ОАО «СУЭК-Кузбасс», ОАО «УК "Кузбассразрезуголь», ОАО «Белон», ЗАО «Стройсервис», ЗАО «Распадская угольная компания», ООО «УК «Заречная», ООО «Холдинг Сибуглемет», ООО «Корпорация «Сатурн», ОАО «ОУК «Южкузбассуголь», ОАО «Южный Кузбасс», ООО «Итатуголь» и др.*

Пробы углей помещены в герметичные контейнеры в среде инертного газа и находятся в специально оборудованном хранилище.

Все образцы охарактеризованы полным набором технического анализа и современными физико-химическими методами:

Влажность	ЯМР
Содержание летучих	ЭПР
Теплотворная способность	СЭМ
Петрография	ДТА-ДТГ
Содержание ПАУ	ИКС
Зольность	Порометрия
Состав минеральной части	

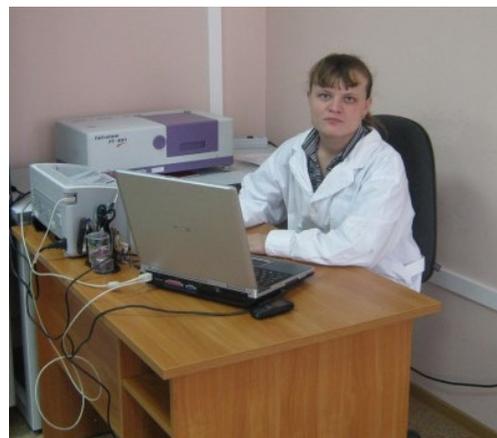


07.12.2019 15:19

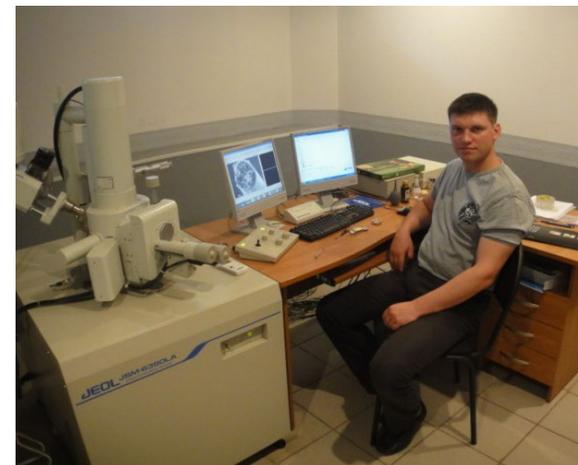
# Сотрудники КемЦКП



**Попова А.Н.**  
старший научный  
сотрудник, к.х.н.



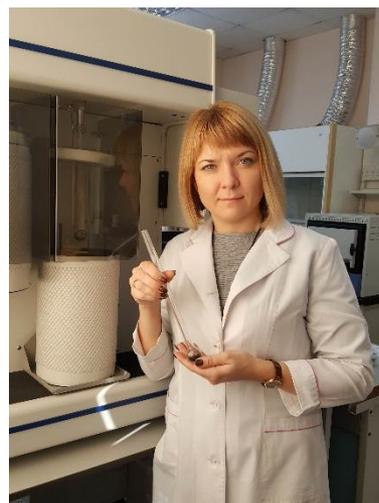
**Малышева В.Ю**  
вед. инженер



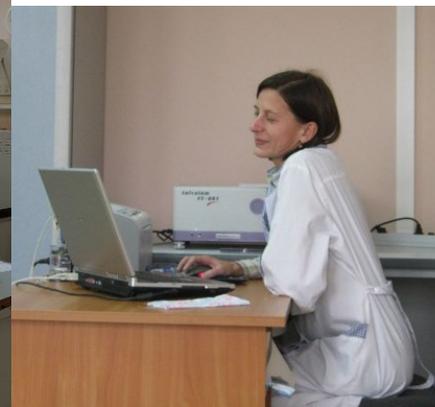
**Лырщиков С.Ю.**  
научный сотрудник,  
к.х.н.



**Захаров Н.С.**  
аспирант



**Дудникова Ю.Н.**  
научный сотрудник, к.х.н.



**Хицова Л.М.**  
вед. инженер



**Ефимова О.С.**  
научный сотрудник, к.х.н.

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

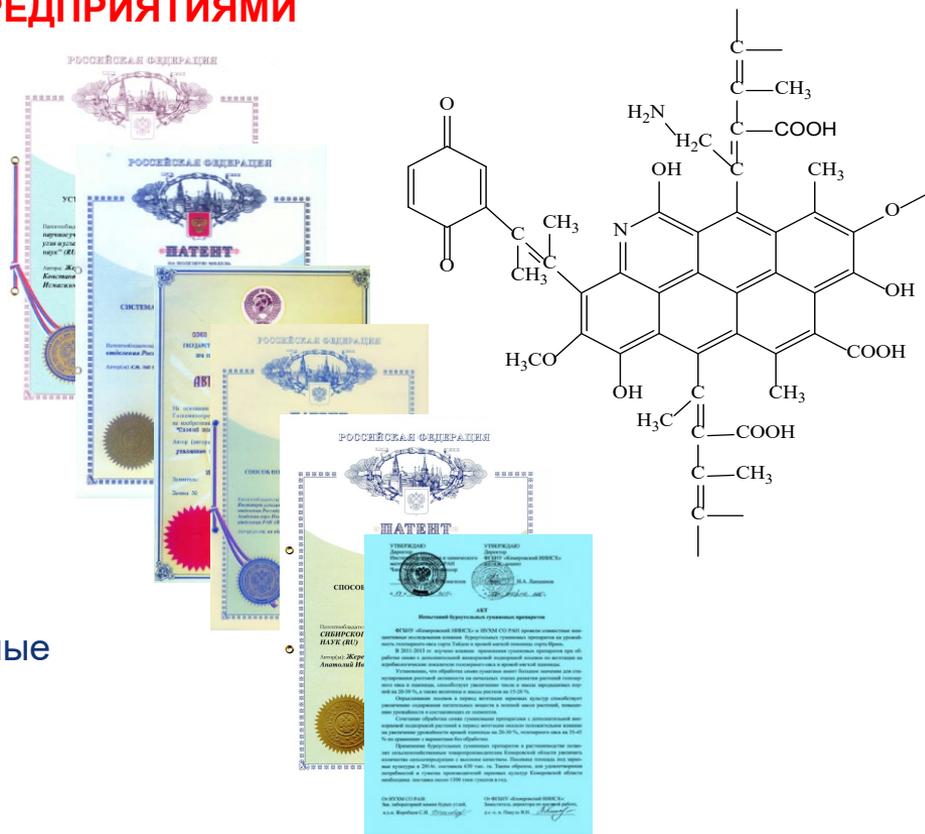
Технология оптимизирована и испытана в условиях укрупненного оборудования опытно-экспериментального стенда.



# РАЗРАБОТАНА ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГУМАТОВ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ КУЗБАССА. ВЫПОЛНЕНЫ ИССЛЕДОВАНИЯ С ВЕДУЩИМИ ИНСТИТУТАМИ И СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЯМИ

## ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГУМАТОВ:

- Адсорбенты для очистки воды и почвы
- Адсорбенты для очистки газовых выбросов
- Производство аккумуляторов
- Керамическое производство
- Пеногасители
- Производство композитных материалов
- Жидкие и консистентные смазки
- Краски и промышленные покрытия
- Резина, бумага и картон
- Косметические и лекарственные средства
- Производство асфальта, битума
- Литейное производство и сырые формовочные смеси



Контроль без гуматов

Семена обработаны гуматами

Продуктивность овса  
увеличилась на **35-40 %**

## Промышленные испытания гуминовых препаратов с оптимальным структурно-групповым составом



Получены буроугольные гуминовые препараты с повышенной биологической активностью. Нарботаны укрупненные партии гуминовых препаратов с оптимальным структурно-групповым составом и протестированы в промышленных полевых условиях в Кемеровской обл. (КХ «Бекон»). Обработано 92 га картофеля «Гала» и 84 га пшеницы «Ирень».

Добавка гуминового препарата в раствор для гербицидной обработки позволила получить высокий урожай картофеля и пшеницы:

- в 2020 г. картофель - 182 ц/га и пшеница - 37 ц/га,
- в 2021 г. картофель - **300 ц/га** и пшеница - **50 ц/га**.

# Опытно-экспериментальный стенд получения сорбентов



## Оборудование ЦКП

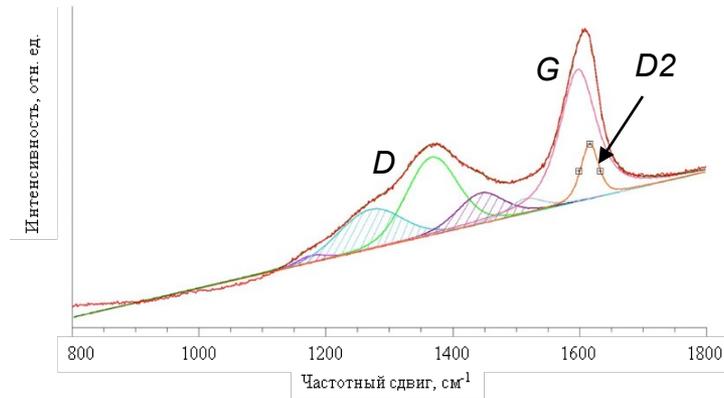
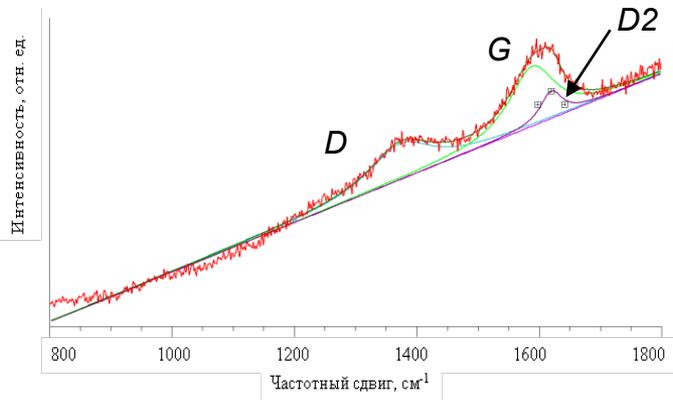
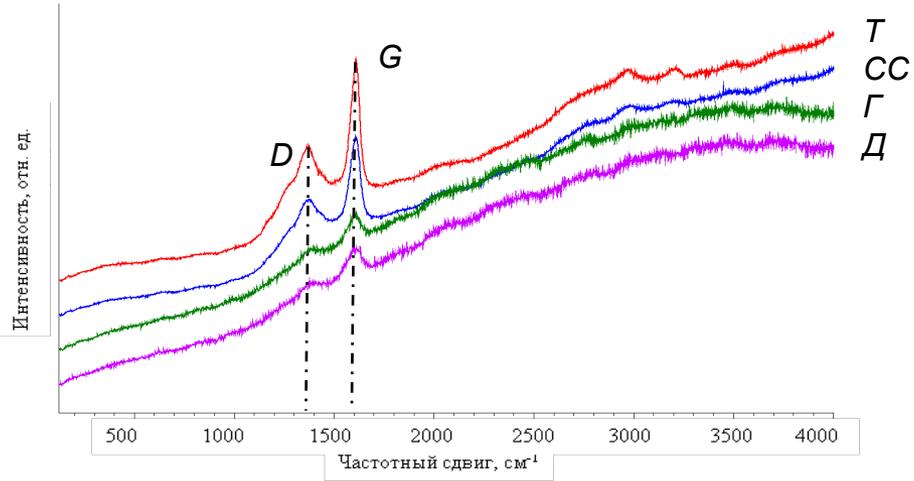
№	Наименование оборудования
1	Анализатор C, H, N, S, O «Flash 2000»
2	Оптико-эмиссионный спектрометр iCAP 6500 Duo LA с приставкой лазерной абляции
3	ИК - фурье спектрометр «Инфралюм ФТ- 801»
4	Спектрометр ЯМР Bruker AVANCE II+ 300 WB с твердотельной приставкой
5	Спектрометр ЭПР Bruker EMX Micro 6/1 (x-диапазон)
6	Рентгеновский дифрактометр Bruker D8 ADVANCE с высокотемпературной камерой
7	Термический анализатор STA 409 PG Luxx с масс детектором
8	Сканирующий электронный микроскоп JSM-6390 LV с рентгеновским энергодисперсионным детектором
9	Атомно-силовой микроскоп Cypher
10	Анализатор размеров частиц Analyzette 22
11	Анализатор удельной поверхности и пористых систем ASAP 2020 Micromeritics
12	ВЭЖХ Agilent 1200 серия ВЭЖХ-DAD/МС
13	ГХ-МСД Agilent 6890N/MSD 5973 Inert

## Объекты и методы исследования

- Ископаемые угли – IR, NMR, Micro-Raman, STA, ASAP, XRD, SEM
- Угольная зола - iCAP
- Углеродные сорбенты на основе ископаемых углей – Micro-Raman, XRD, SEM, ASAP
- Коксы – STA, Micro-Raman, XRD, SEM, ASAP
- Каменноугольный пек - IR, NMR, EPR, STA, XRD, GCMS
- Наночастицы переходных и благородных металлов, твердых растворов и интерметаллидов на их основе – STA, XRD, ASAP, SEM
- Углеродные нанотрубки, нановолокна и пористые углеродные материалы с нанесенными наночастицами металлов и их оксидов - iCAP, XRD, SEM, ASAP
- Пыль (угольная, производственная) iCAP, SEM, ASAP
- Жидкие и твердые продукты пиролиза твердого топлива IR, NMR, EPR, GCMS
- Археологические объекты – сплавы металлов (бронзы) iCAP

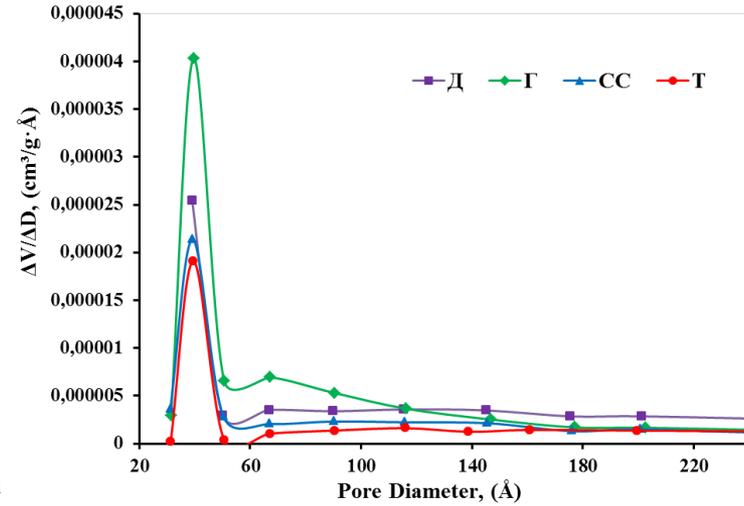
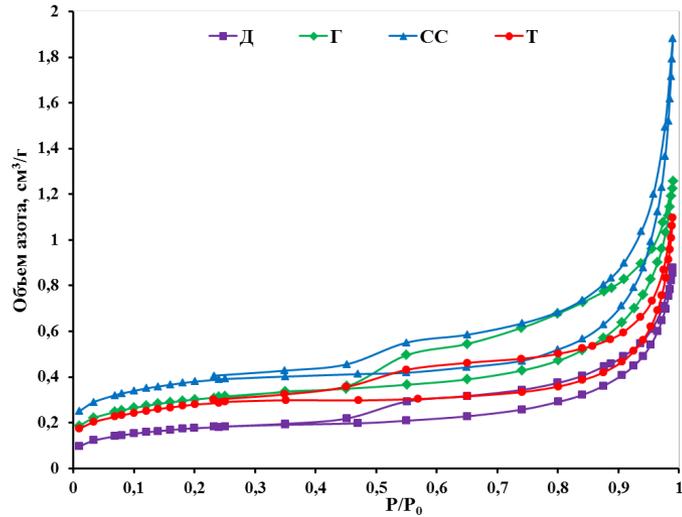


## Влияние степени метаморфизма угля на его КР-спектр





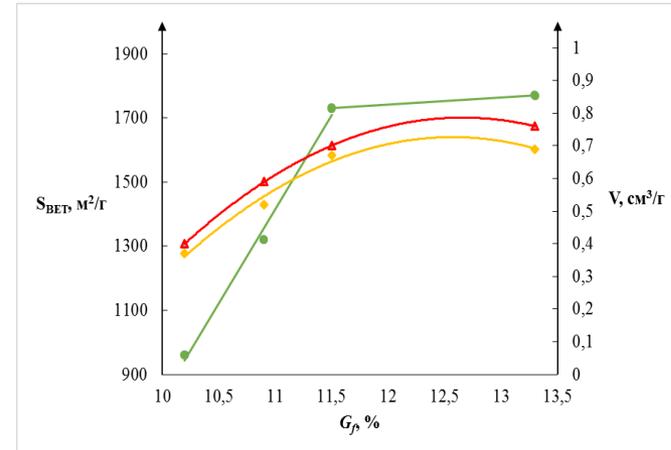
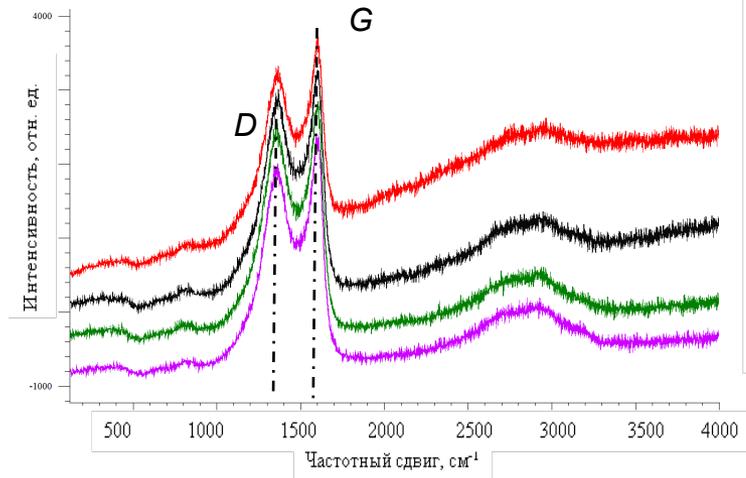
# Исследование текстурных характеристик ископаемых углей



	$S_{\text{БЕТ}}, \text{ м}^2/\text{г}$	$V_{\Sigma}, \text{ см}^3/\text{г}$	$V_{\text{микро}}, \text{ см}^3/\text{г}$	$V_{\text{мезо}}, \text{ см}^3/\text{г}$	Относительное содержание микро - и мезопор, %		$D_{\text{pores}}, \text{ нм}$
					$V_{\text{микро}}/V_{\Sigma}$	$V_{\text{мезо}}/V_{\Sigma}$	
Уголь марки «Д»	1.35	0.0025	0.00020	0.0023	8	92	7.4
Уголь марки «Г»	1.07	0.0018	0.00010	0.0017	5	94	6.6
Уголь марки «СС»	0.63	0.0013	0.00005	0.0012	4	96	7.7
Уголь марки «Т»	0.99	0.0015	0.00010	0.0013	7	87	5.9



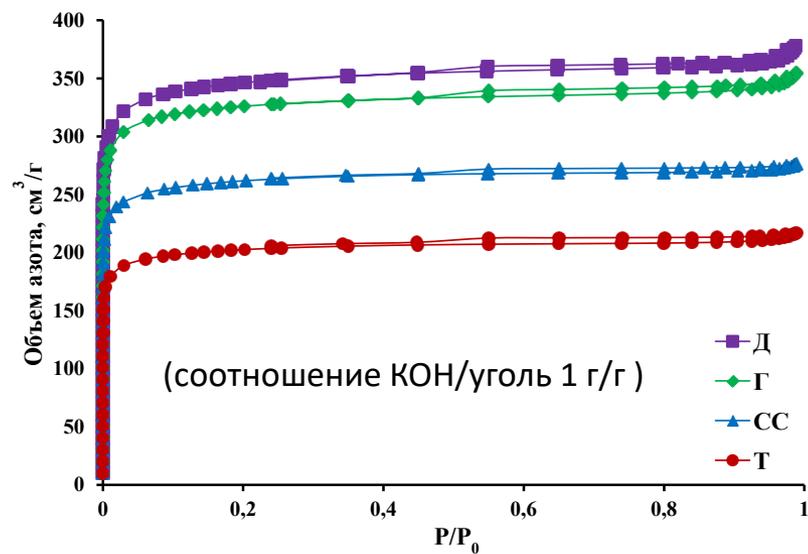
## Влияние степени метаморфизма на формирование молекулярного каркаса углей после карбонизации



Соотношения текстурных характеристик углеродных сорбентов полученных из ископаемых углей «Т»→«СС»→«Г»→«Д» и степени графитизации; ● –  $S_{\text{BET}}$ ; ▲ –  $V_{\Sigma}$ ; ◆ –  $V_{\mu}$ .

Параметры  $I_D/I_G$  и  $G_f$  получены для углеродных сорбентов, полученных из этих углей:  $I_D/I_G = 1.91; 2.18; 2.28; 2.23$ ,  $G_f = 13.3; 11.5; 10.9; 10.2$ .

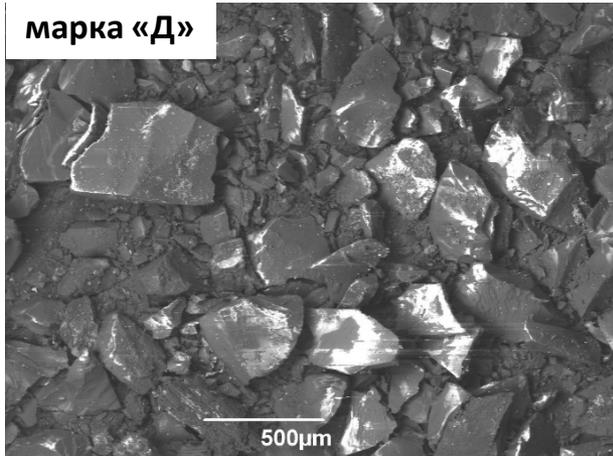
## Исследование текстурных характеристик углеродных сорбентов, полученных щелочной активацией углей различных марок



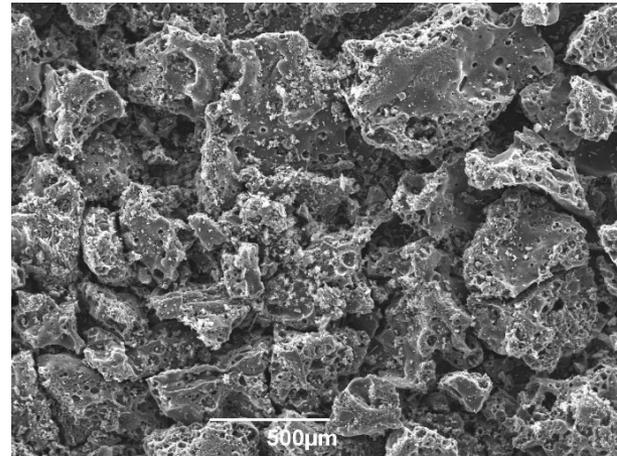
Марка угля	$S_{\text{БЕТ}}, \text{ м}^2/\text{г}$	$V_{\Sigma}, \text{ см}^3/\text{г}$	$V_{\text{микро}}, \text{ см}^3/\text{г}$	$V_{\text{мезо}}, \text{ см}^3/\text{г}$	$V_{\text{микро}}/V_{\Sigma}$	$V_{\text{мезо}}/V_{\Sigma}$
«Д»	1340	0.58	0.46	0.07	79	12
«Г»	1260	0.54	0.44	0.06	81	11
«СС»	1010	0.43	0.35	0.03	81	7
«Т»	780	0.33	0.27	0.03	82	9

## Уголь

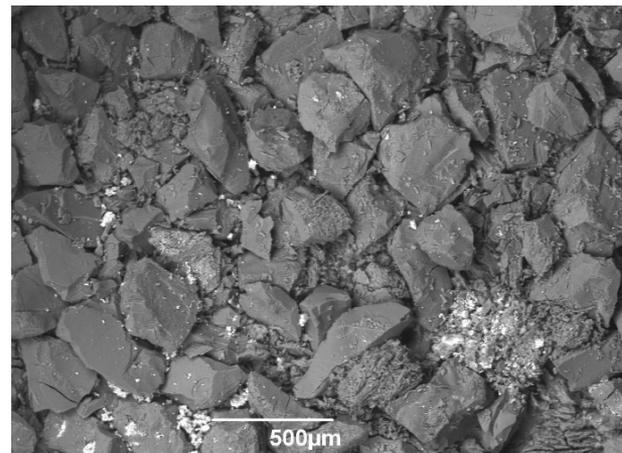
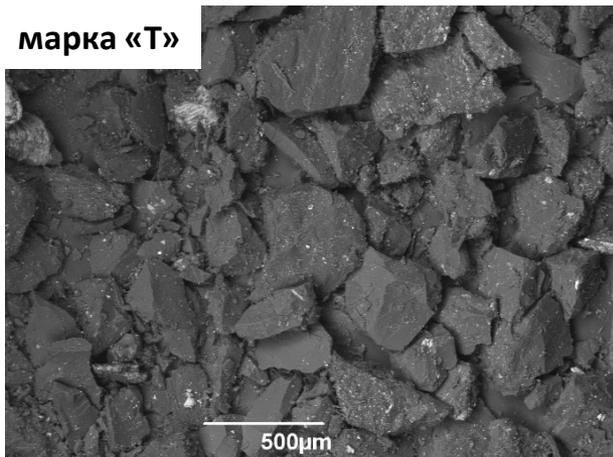
марка «Д»



## Сорбент, полученный активацией угля гидроксидом калия ( $R_{\text{KOH}} = 1 \text{ г/г}$ )



марка «Т»





# Исследование текстуры и структуры промышленных коксов



КР-спектрометр Renishaw



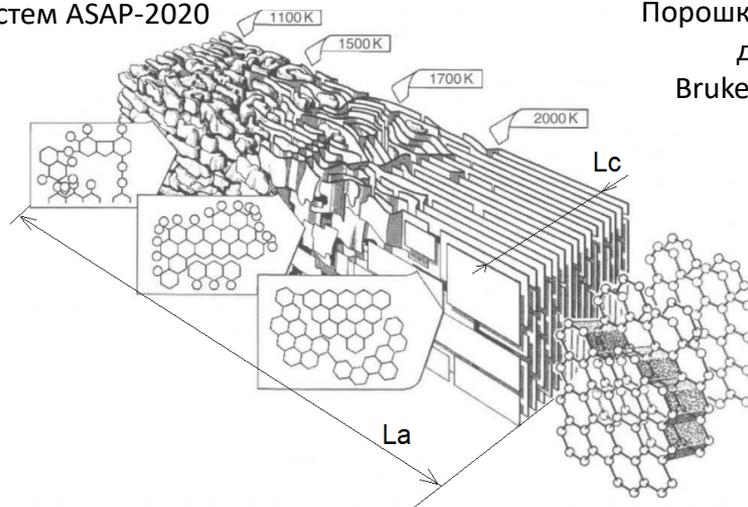
Анализатор удельной  
поверхности и пористых  
систем ASAP-2020



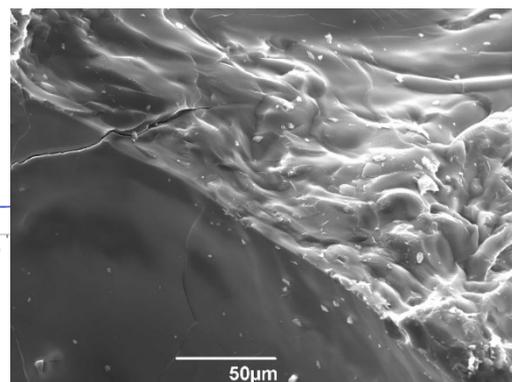
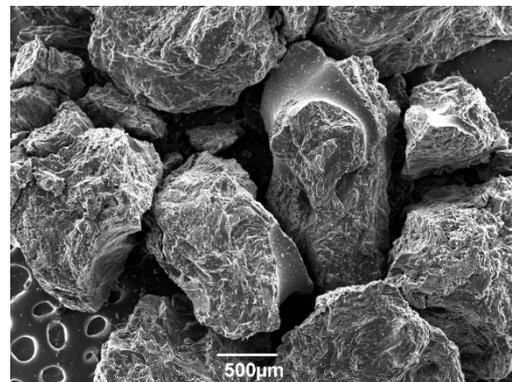
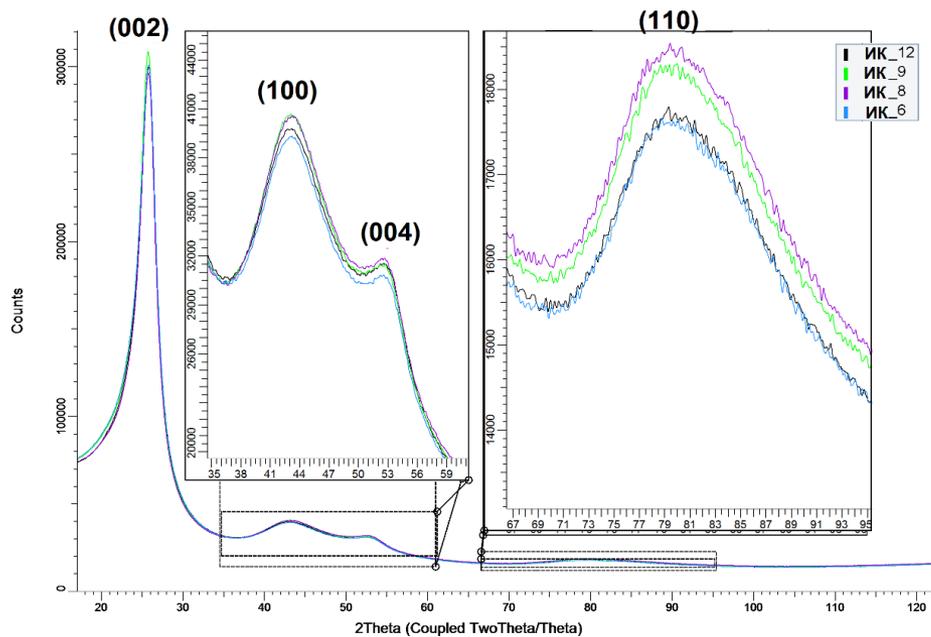
Порошковый рентгеновский  
дифрактометр  
Bruker D8 ADVANCE A25



Аналитический сканирующий  
электронный микроскоп JEOL JSM-6390

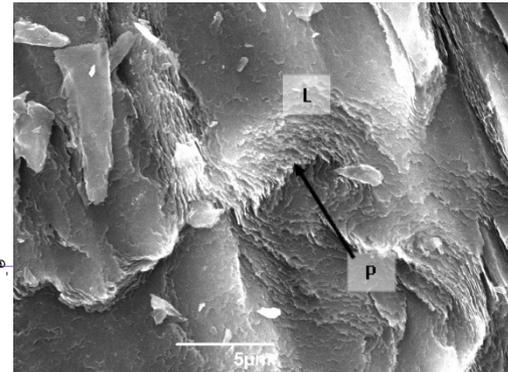
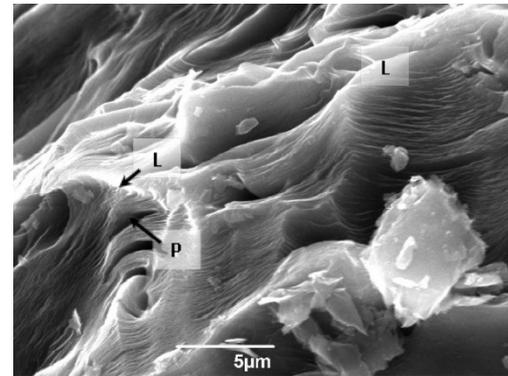
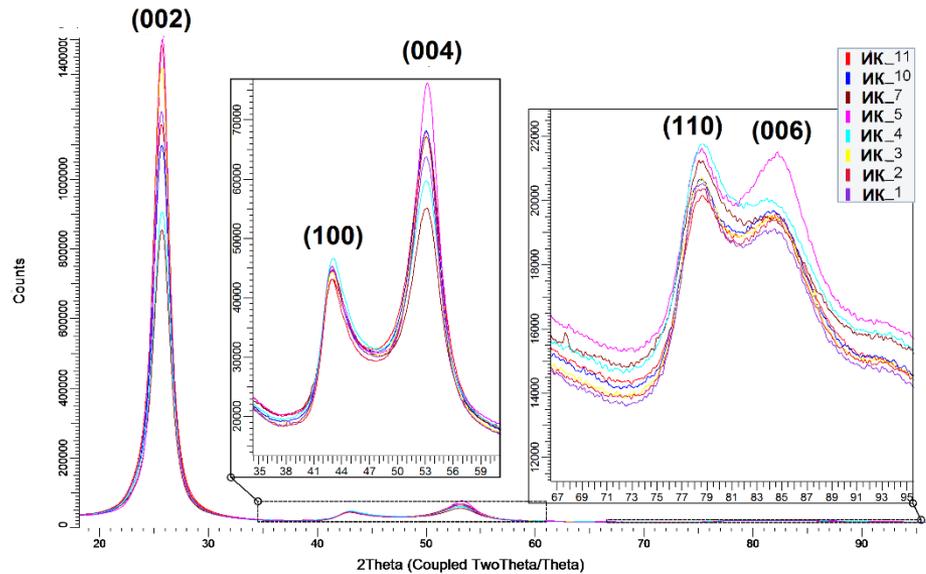


# Рентгеноструктурный и электронно-микроскопический анализ изотропных коксов



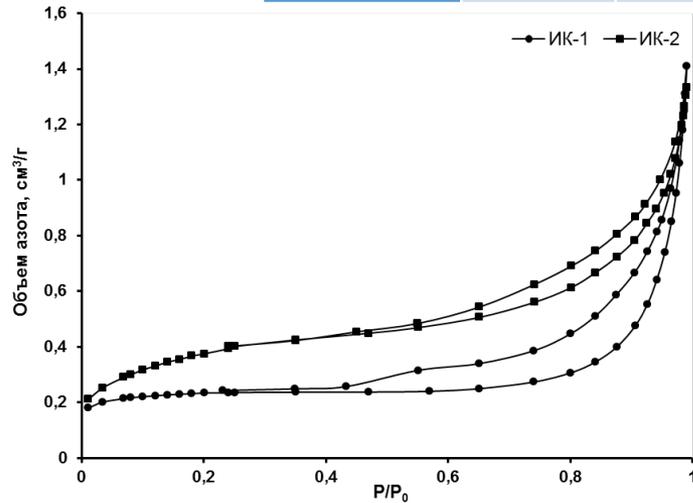


# Рентгеноструктурный и электронно-микроскопический анализ игольчатых коксов

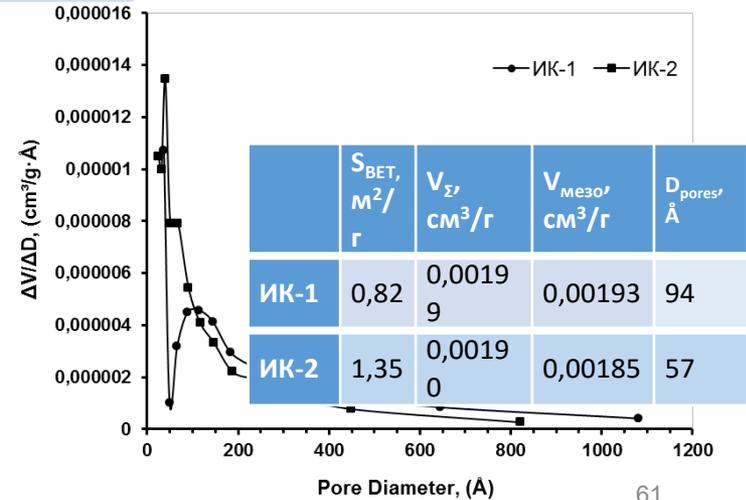


## Структурные и текстурные характеристики изотропных (рядовых) и анизотропных (игольчатых) коксов

Структурный параметр	Низкотемпературный изотропный кокс (ИК-2)		Прокаленный игольчатый кокс (ИК-1)	
	1-фаза	2-фаза	1-фаза	2-фаза
$d_{002}, \text{Å}$	3,435	3,500	3,435	3,461
$l_c, \text{Å}$	34	20	40	19
Доля фазы	0,4	0,6	0,6 ↑	0,4
$\rho, \text{г/см}^3$	2,22	2,18	2,22	2,20
N, шт	11	7	13	6
$l_a, \text{Å}$	30	24	99	81



ИК-1 игольчатый кокс  
ИК-2 рядовой кокс

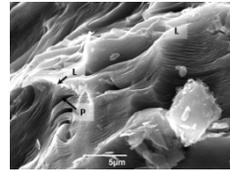
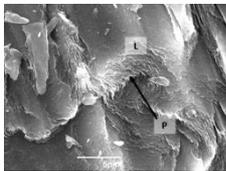
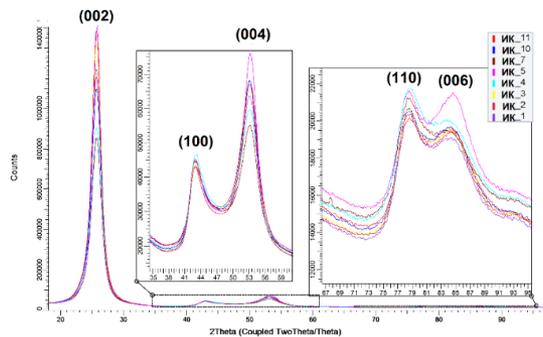




## Институт углеродимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН

### X-ray исследование структуры игольчатых коксов

*Авторы: Исмагилов З.Р., Попова А.Н., Созинов С.А.,  
Дудникова Ю.Н.*

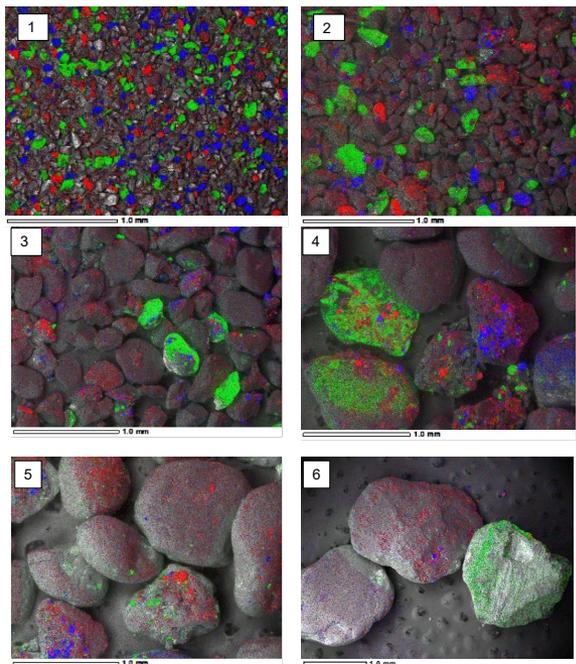


Рентгенограмма и электронно-микроскопические изображения игольчатых коксов премиум класса

Методом рентгеноструктурного анализа впервые показано, что ламеллярная структура игольчатых коксов «премиум класса» обладает турбостратной структурой графита с высокой степенью кристалличности, о чем свидетельствует появление отражения дальних порядков от семейства плоскостей (001). Произведенные расчёты параметра  $L_a$  и  $L_c$ , (размер кристаллитов по базисной плоскости и количество слоев ламелей в упаковках) для ряда игольчатых коксов «премиум класса» показали, что  $L_a$  составляет величину от 80 до 100 Å, и превышает в несколько раз этот параметр для «рядовых коксов», для которых параметры  $L_a$  и  $L_c$  имеют сопоставимые величины. Таким образом, рентгеноструктурный анализ может являться дополнительным инструментом оценки качества коксов.



## Комплексное исследование химического состава угольной пыли



**Авторы: Ефимова О.С., Панина Л.В. Созинов С.А.**  
Комплексом физико-химических методов исследованы образцы угольной пыли. Установлены закономерности изменения элементного состава органической и неорганической части в зависимости от класса крупности фракций.

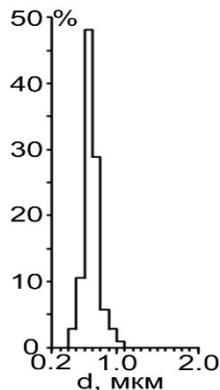
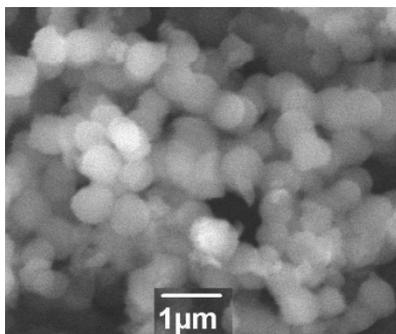
Установлено, что снижение значений основных текстурных характеристик при увеличении размера частиц коррелирует со снижением содержания минеральных компонентов фракции, а изменение размера пор - с содержанием оксида железа в образце.

Методом динамического рассеяния света в составе образца угольной пыли наряду с частицами PM10 и PM2.5, обнаружены ультрамелкие частицы размером менее 100 нм (ultrafine particles - PM0,1), которые являются наиболее токсичными и имеют крайне низкую скорость осаждения из атмосферы.

**Микрофотографии поверхности частиц угольной пыли различных классов крупности с наложением характеристических сигналов элементов Ca (синий), Fe (зеленый) и Si (красный)**

## Способ получения монодисперсных порошков асфальтенов из каменноугольного пека

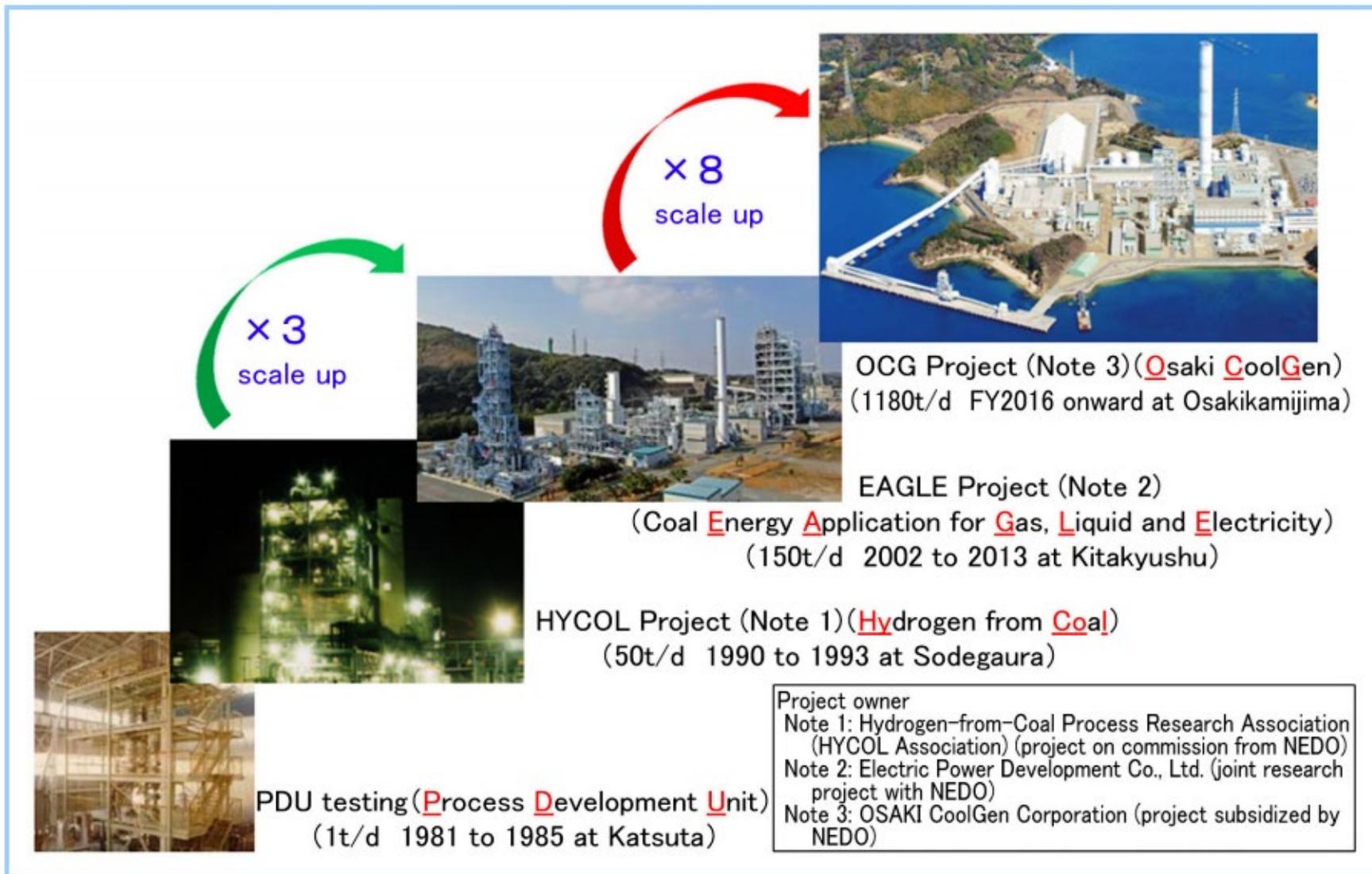
*Авторы: Созинов С.А., Попова А.Н., Дудникова Ю.Н., Лырщиков С.Ю., Исмагилов З.Р.*



Частицы асфальтенов со средним размером  $\sim 0.6$  мкм  
(коэффициент вариации по размерам  $C_v = 9\%$ )

Форма и дисперсность частиц асфальтенов, полученных из каменноугольного пека, зависят от условий их осаждения. Интенсификация перемешивания в системе с использованием ультразвука приводит к осаждению частиц меньшего размера с одновременным ростом полидисперсности системы, а более тщательное удаление молекул мальтенов, обеспечивающих коллоидную устойчивость асфальтеновых ядер, способствует появлению полиэдрических частиц. Таким образом подбирая условия осаждения можно получать порошки асфальтенов с узким распределением частиц по размерам (коэффициент вариации менее 10%). Это открывает перспективу одного из возможных направлений применения порошков асфальтенов, например, в качестве агента в хроматографических системах для сорбции полиароматических углеводородов или в качестве наполнителей в связующих для создания полимерных и углеродных нанокомпозитов.

# Необходимые стадии разработки промышленной технологии получения водорода и энергии из угля





МИНОБРНАУКИ  
РОССИИ

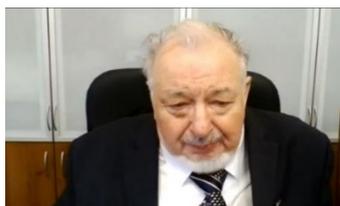
**ФИЦ угля и углехимии СО РАН**

**Спасибо за внимание**

# **Х Международный российско-казахстанский симпозиум «Углекислотная и экология Кузбасса» состоится 12 июля 2021 г. Кемерово**



**Исмагилов З.Р., академик  
РАН Председатель**



**Конторович А.Э.,  
академик РАН**



**Будебазарын  
Авид, академик  
Монгольской академии  
наук**



**Исламов Д.В.,  
депутат ГД РФ**



**Мансуров З.А., академик МАН  
ВШ, Казахстан**



**Алексеев С.В., академик РАН**



**Очные участники симпозиума в  
конференц-зале ИУХМ ФИЦ  
УУХ СО РАН**



**Ганиева И.А., Министр науки и  
Высшего образования  
Кузбасса  
(директор АНО НОЦ «Кузбасс»)**



**Крюков В.А., академик РАН**

- В июне 2020 года была принята программа развития угольной промышленности России, где были сформированы два сценария развития отрасли - консервативный и оптимистический.
- В первом, предусматривалось, что внутреннее потребление угля для генерации электричества в нашей стране останется на прежнем уровне (около 87 млн тонн), а мировые цены будут находиться на минимальном уровне. В этом случае, добыча угля в России вырастет с 440 млн тонн в 2019 году до 485 млн тонн в 2035 году.
- Оптимистический вариант предусматривает рост объемов добычи до 668 млн тонн, при увеличении внутреннего потребления на 120 млн тонн. Сейчас запланировано строительство 7 новых угольных ТЭС и модернизация 12 действующих станций угольной генерации в Сибири и на Дальнем Востоке.

- Экспорт российского угля в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) вырастет со 100 млн тонн в 2018 году до 237-252 млн тонн в 2035 году, то есть в 2,5 раза, написал глава минэнерго Александр Новак в своей авторской колонке журнала "Энергетическая политика". Общий объем экспорта угля из России в 2035 году по консервативному сценарию развития отрасли составит **259 млн тонн**, а по оптимистическому - почти **392 млн. тонн**. В 2019 году за границу было поставлено **220 млн** тонн угля.
- По словам министра, отрасль не обошло влияние пандемии коронавируса. По итогам второго квартала 2020 года объем добычи угля сократился на 9,6%, поставки на внутренний рынок снизились на 11,6 %, а на экспорт - на 5,6%, по сравнению с тем же периодом прошлого года. Кроме того на мировой рынок влияют глобальные тенденции развития ТЭК последних лет - усиление конкуренции, рост доли возобновляемых источников энергии, газа, водородной энергетики и ужесточение климатической повестки. Но, несмотря на это, по оценке многих аналитических агентств, общая международная торговля углем вырастет на **5-13% к 2035 году до 1,5-1,6 млрд тонн**. И уже сейчас на рынок стран АТР приходится почти 80% общемировой торговли углем.

- Добычей угля в России занимаются **57 шахт и 130 разрезов**, переработка и обогащение угля ведется на 64 обогатительных фабриках и установках - это единственная отрасль ТЭК, где работают **только частные компании**. Крупнейший угледобывающий регион России и мира - Кузбасс - обеспечивает почти 60% всей угольной продукции в России.
- Угольные предприятия являются градообразующими для более 30 городов и поселков Сибири и Дальнего Востока общей численностью более 1,5 млн человек. В отрасли занято почти 150 тысяч человек и еще 500 тысяч в смежных отраслях - железнодорожной, портовой, вагоностроительной и других. Российские угольные компании обеспечили 38% всего прироста международной торговли углем. Доля нашей страны на мировом рынке с 1997 года выросла в 4 раза и **достигла 15%**.

# Получаемые гуминовые препараты из бурых углей Кузбасса обладают высокой эффективностью

Высокая эффективность получаемых гуминовых препаратов подтверждена многолетними исследованиями:

## Кузбасс:

Посевная площадь Кузбасса под зерновые культуры – **534** тыс. га<sup>1</sup>.

Потребность в жидких гуминовых препаратах – **1500** тонн/год.

Необходимый объем исходного сырья (уголь марки 2Б) – **300-500** тонн/год.

В 2020 г урожай зерновых в Кузбассе составил более **1 млн. 400 тыс. тонн<sup>2</sup>**.

Применение гуминовых препаратов по всему Кузбассу даст **дополнительно 10%** к урожаю зерновых или **140 тыс. тонн зерна**.

**Экономический эффект для Кузбасса составит - до 1,0 млрд. рублей в год (по пшенице, ячменю и овсу).**

*Примечание.* 1 - Посевные площади сельскохозяйственных культур в 2019 году. Данные Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области. [Ссылка](#)

2- Данные пресс-центра Администрации Правительства Кузбасса. [Ссылка](#)