

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

# НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



*Инженерная школа природных ресурсов  
Специальность 21.05.02. Прикладная геология  
Отделение геологии*



КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ЛИТОЛОГИЯ»

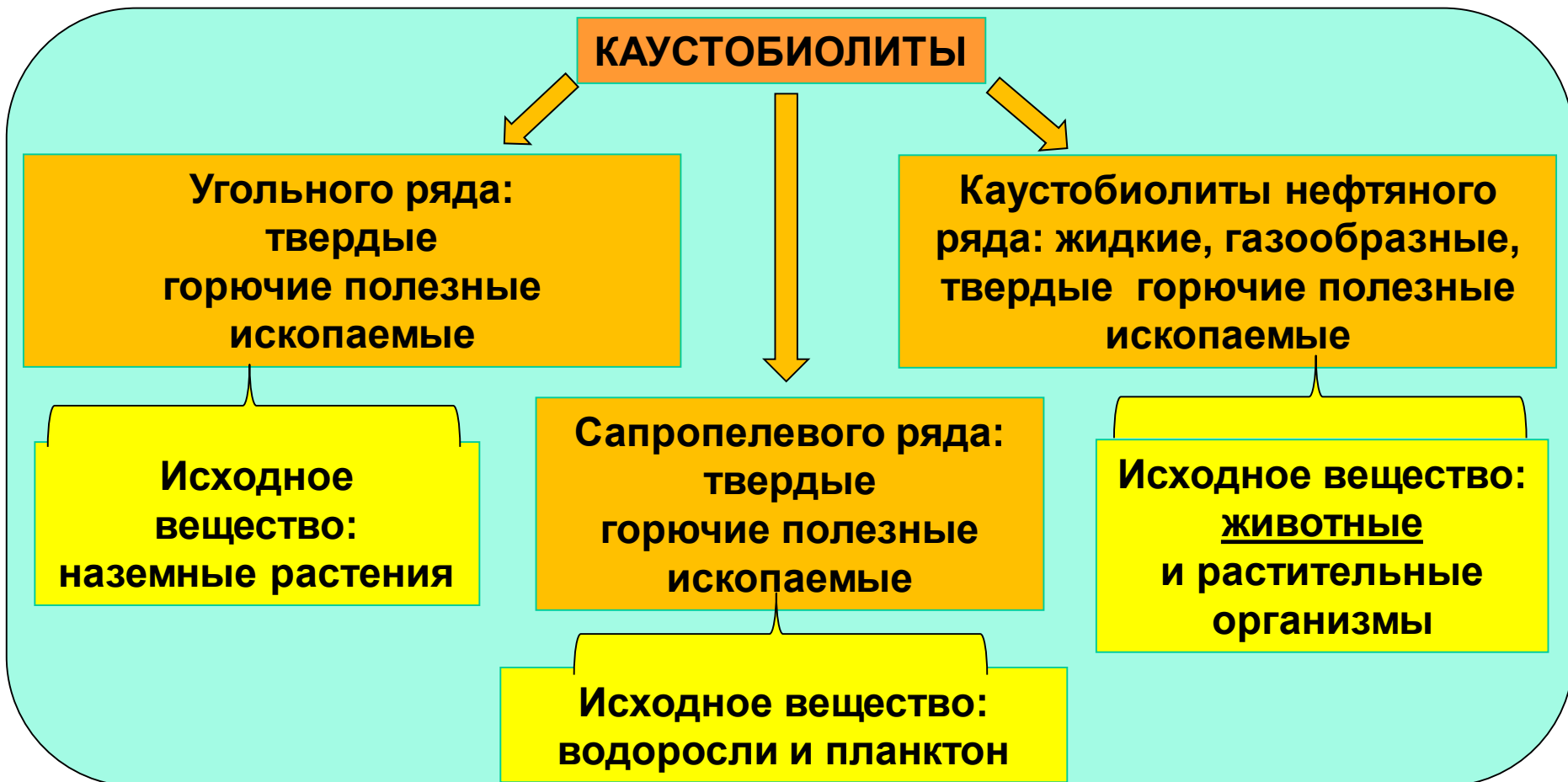
## ЛЕКЦИЯ 8 КАУСТОБИОЛИТЫ

*Лектор: к.г.-м.н., доцент  
Отделения геологии  
Недоливко Н.М.*

# Биогенные породы. Каустобиолиты

(лат. «каустос» - горючий, «биос» - жизнь, «литос» - камень)

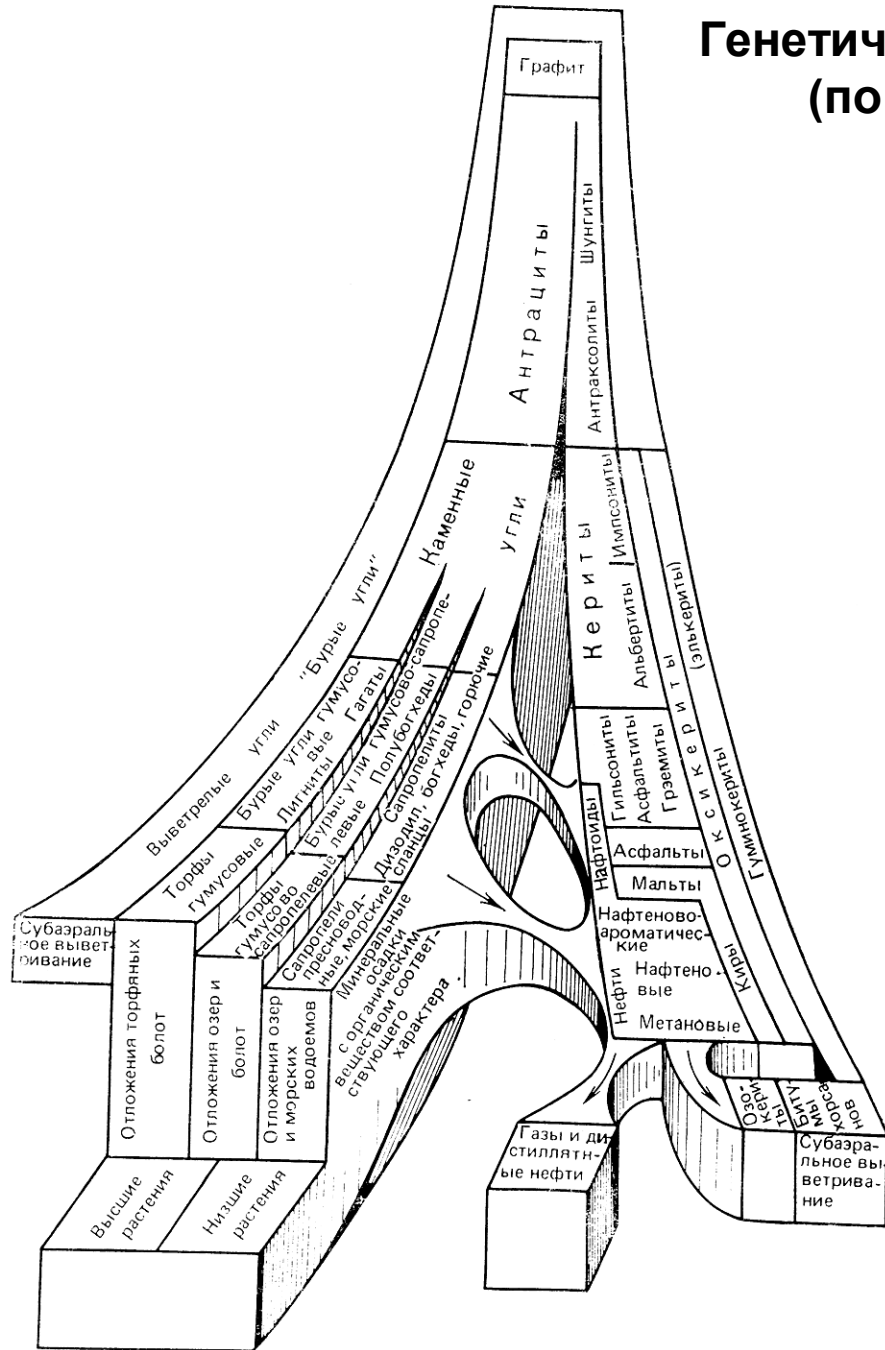
Группа органических пород, состоящих в основном из углерода, водорода, кислорода, основным отличительным признаком которых является способность к сгоранию и выделению при этом большого количества теплоты. (относят породы, Они относятся к горючим полезным ископаемым).



# Классификацию каустобиолитов можно представить в виде схемы:



# Генетическая классификация каустобиолитов (по В.А. Успенскому и О.А. Радченко)



**Угольная ветвь:** приведены геохимическая и фаціальная обстановки образования, две основные категории биопродуцентов (высшие растения и низшие организмы). Она состоит из трех соприкасающихся блоков: гумусовые, гумусо-сапропелитовые и сапропелитовые угли. Вертикальный подъем ветви соответствует нарастанию интенсивности катагенетического преобразования.

**Нефтяная ветвь** (от газов до антраксолитов и шунгитов) стрелками показана генетическая связь нефти с сапропелитами озер и морских водоемов, связь озокеритов и газов с легкими метановыми нефтями. Продукты гипергенетического изменения нефти располагаются в средней части; продукты катагенеза и метаморфизма нафтидов - в верхней.

Крайняя левая и крайняя правая части соответствуют наиболее выветрелым разностям углей и нафтидов.

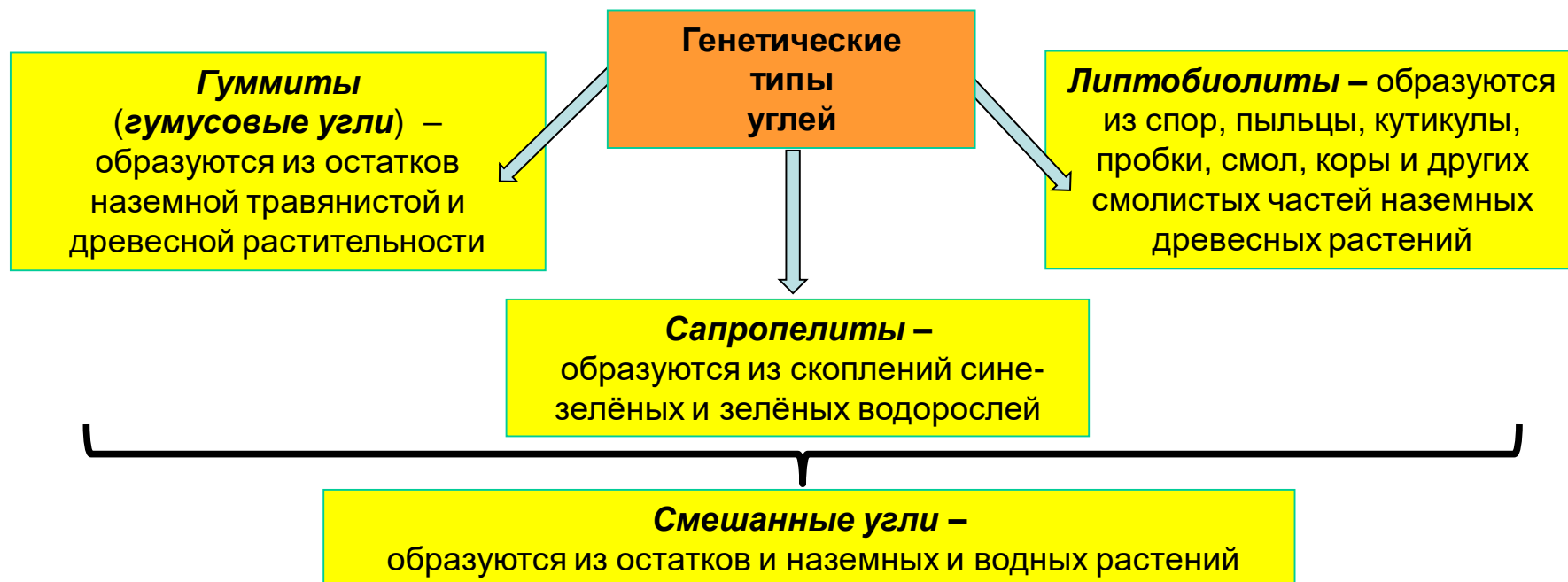
# Угольный ряд. Условия осадконакопления и генетические типы

**Условия накопления:** застойные замкнуты водоемы

- континентальные: озера, болота;
- переходные: марши (прибрежные болота), лагуны

**Исходные продукты седиментогенеза:**

- в континентальных болотах: остатки наземных растений (листья, стебли, кора, споры и др. части травяных и древесных растений);
- в озерах: остатки наземных растений, водоросли;
- в лагунах: водоросли, реже планктон



# Угольный ряд. Гуммиты. Стадиальные изменения

## Седиментогенез. Торф



**Бурый торф**

[https://st6.stpulsцен.ru/images/product/209/697/542\\_big.jpg](https://st6.stpulsцен.ru/images/product/209/697/542_big.jpg)



**Черный торф**

[https://st45.stpulsцен.ru/images/product/249/482/005\\_big.png](https://st45.stpulsцен.ru/images/product/249/482/005_big.png)

Легкая и довольно рыхлая землистая порода бурого или черного цвета, содержащая скопление видимых растительных остатков разной степени разложенности и гелификации.

## Диагенез-Протокатагенез. Бурый уголь



**Бурый уголь**

<https://nvph.ru/assets/images/neft-ugol/burii-ugol.jpg>



**Бурый уголь**

<https://popsci.com.tr/wp-content/uploads/2016/07/lignite-coal.jpg>



**Бурый уголь**

<https://konspekta.net/stydope-dyaru/baza2/8141296983015.files/image003.jpg>



**Бурый уголь. Лигнит**

[https://www.earthsciences.hku.hk/shmuseum/image/earth\\_mat/2\\_4/s23%20Lignite\\_large.JPG](https://www.earthsciences.hku.hk/shmuseum/image/earth_mat/2_4/s23%20Lignite_large.JPG)

**Текстура** однородная и слоистая, плитчатая отдельность, породы плотные.

**Излом** землистый, неровный и полураковистый

**Цвет:** бурый, коричневый, черный; **черта** светло-бурая до темно-бурой.

**Блеск** матовый или слабый. **Твердость** 1–1,5.

**Содержание углерода** 60-75% на органическую массу. **Горит** в сухом порошке.

**Лигнит** – бурый уголь с четко выраженным древесным строением (стволы и обломки хвойных растений).

# Угольный ряд. Гуммиты. Изменения при катагенезе

## Мезокатагенез. Каменный уголь



Каменный уголь

<https://miningmckissick.files.wordpress.com/2013/01/5200-i.jpg>



Каменный уголь

<http://sc01.alicdn.com/kf/Ud33ff3c41bfd4535b3ae000c1bba5779r/990308946/Ud33ff3c41bfd4535b3ae000c1bba5779r.jpg>

Плотные и хрупкие породы

**Блеск** жирный, реже матовый

**Цвет** темно-серый до черного,

**Черта** черная матовая или блестящая

**Излом** землистый или раковистый.

**Пачкает** руки

**Горит** в сухом порошке

**Содержание углерода** от 75 до 92% на органическую массу.

## Апокатагенез. Антрацит



Антрацит

<https://vezetnerud.ru/images/drova/ugol-antracit-vezetnerud.jpg>



Антрацит

<https://media.istockphoto.com/photos/piece-of-coal-picture-id616111976>

Твердые плотные наиболее высоко-метаморфизованные угли.

**Текстура** массивная или слоистая,

**Отдельность** плитчатая и ромбоидальная.

**Блеск** стеклянный, алмазный, сильный полуметаллический

**Цвет** серовато-чёрный и чёрно-серый,

**Черта** бархатисто-чёрная.

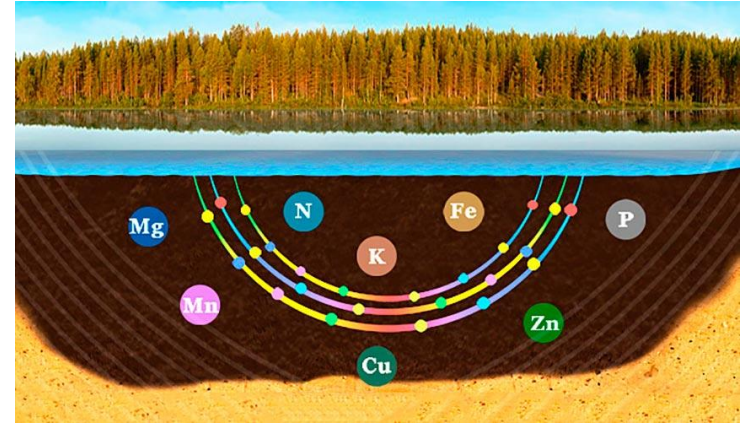
**Излом** неровный, раковистый.

**Не пачкает** руки,

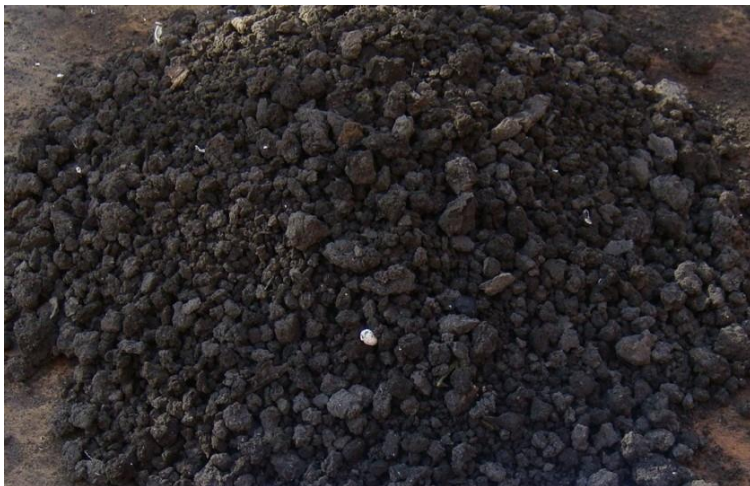
**Твердость** 2–2,5; **плотность** маленькая

**Содержание углерода** 91-97% на органическую массу.

# Сапропелиты. Сапропель

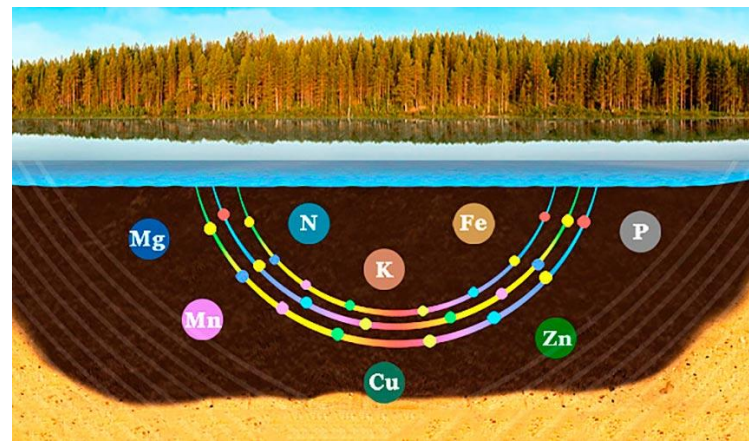


*Сапропель* – это ил, содержащий большое количество органического вещества. Основная масса состоит из тонкого и грубого детрита водорослей, различных микроорганизмов, насекомых и растений. Всегда содержит терригенные примеси и минеральные новообразования до 30-50%.

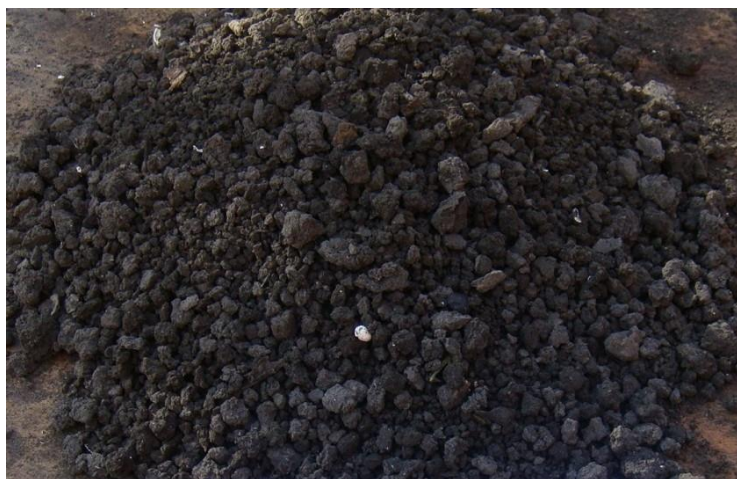




## Сапропелиты. Сапропель



*Сапропель* – это ил, содержащий большое количество органического вещества. Основная масса состоит из тонкого и грубого детрита водорослей, различных микроорганизмов, насекомых и растений. Всегда содержит терригенные примеси и минеральные новообразования до 30-50%.



## Сапропелиты. Горючие сланцы



**Горючий сланец.  
Кукерсит**

<http://paleostratmuseum.ru/files/394-7.jpg>



**Горючий сланец.  
Кукерсит**

[http://paleostratmuseum.ru/files/389\\_01\\_16.jpg](http://paleostratmuseum.ru/files/389_01_16.jpg)



**Горючий сланец**

<http://paleostratmuseum.ru/files/394-6.jpg>



**Битуминозный сланец**

[https://regnum.ru/uploads/pictures/news/2017/03/02/regnum\\_picture\\_1488481288770593\\_normal.jpg](https://regnum.ru/uploads/pictures/news/2017/03/02/regnum_picture_1488481288770593_normal.jpg)

**Горючие сланцы** – породы смешанного обломочного, и органогенного происхождения.

**Текстура:** однородная, тонкослоистая, сланцеватая

**Цвет** темно-серый или бурый.

**Состав:** органическое вещество преимущественно сапропелевого ряда, тонкозернистый обломочный материал, глинистое и известковистое вещество.

**Органическое вещество** представлено остатками высших наземных растений (листья, споры, пыльца) и водорослей (зелёных, сине-зелёных, диатомовых), остатками планктона и иногда макрофауны (моллюски, рыбы и т.д.)

**Содержание** органического вещества 20- 60%.

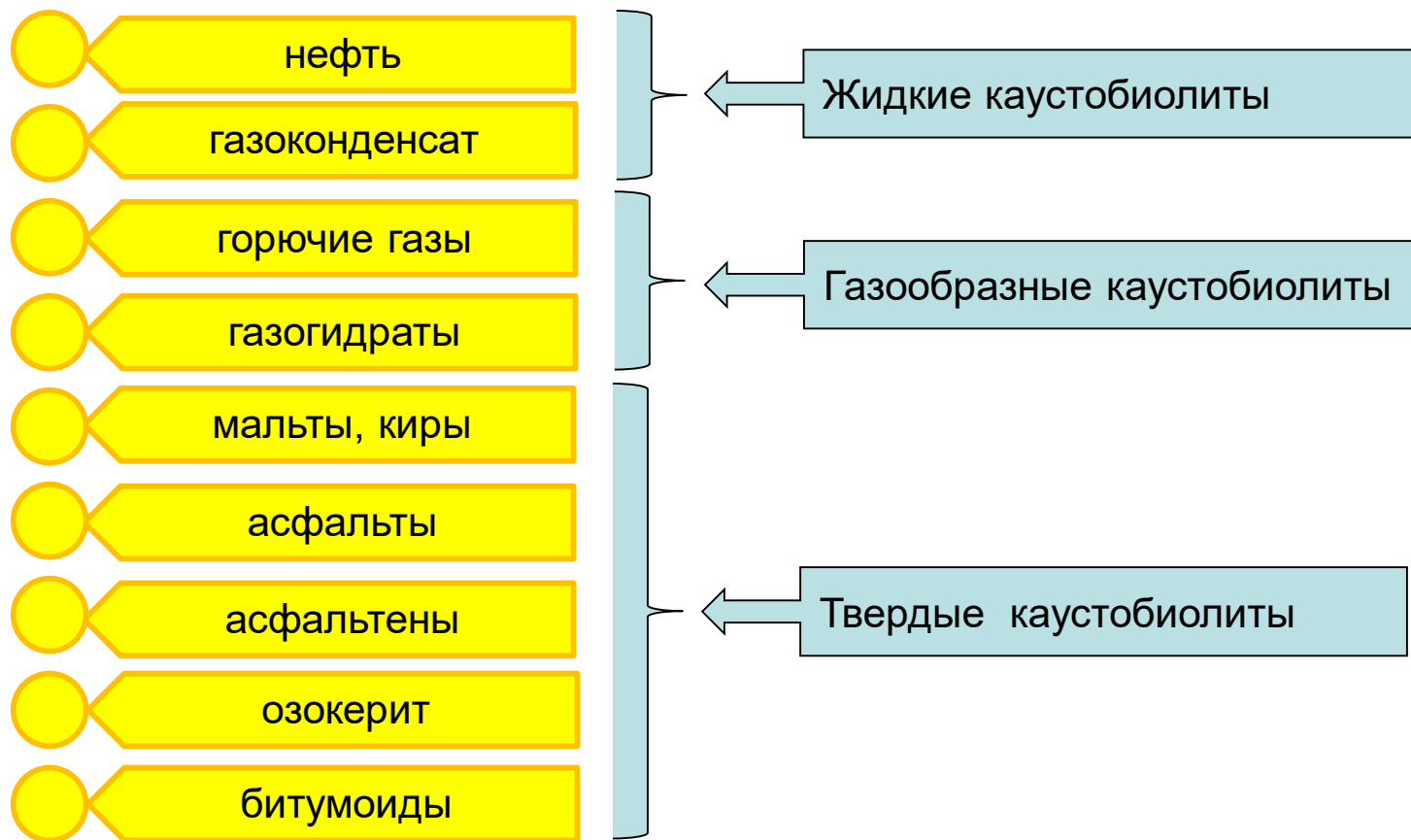
**Разновидности:** кукерситы – мергелистые горючие и сланцы с нефтяными битумами

**При горении** выделяют характерный битумный запах.

**Образуются** в пресноводных озерах, лагунах и морях.

# Каустобиолиты. Нефтяной ряд

К каустобиолитам нефтяного ряда относятся:



# Жидкие каустобиолиты. Нефть и газовый конденсат

Нефть – маслянистая жидкость черного, темно-бурого, желтого цвета, реже бесцветная и зеленая, состоящая из углеводородов, насыщенных (парафиновых), ненасыщенных (нафтеновых) и ароматических, а также  $O_2$ , S и N-содержащих соединений.

Нефть – это сложный раствор углеводородов (газообразных, жидких и твердых), где в жидкой фазе растворены твердые и газообразные вещества.

Газовый конденсат (газоконденсат) – это жидкость, которая конденсируется из газа при понижении давления (ниже давления начала конденсации)



**Нефть**

<https://hellbro.ru/uploads/posts/2018-06/15297744311817.jpeg>



**Газовый конденсат**

[https://st21.stpulsцен.ru/images/product/322/367/987\\_big.JPG](https://st21.stpulsцен.ru/images/product/322/367/987_big.JPG)

# Газообразные каустобиолиты. Природный газ и газогидраты



## Попутный газ

<https://novostivl.ru/wp-content/uploads/2021/10/04/6603b4014c7e17d45561251543aeb743-1.jpg>

**Природный газ** – полезное ископаемое, представляющее собой смесь газообразных углеводородов природного происхождения.

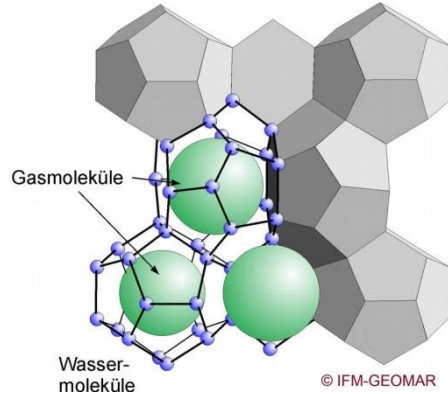
**Главным компонентом** является метан, примеси бутана, пропана и других тяжелых углеводородов.

Иногда в составе газа присутствует некоторое количество углекислого газа, азота, сероводорода и гелия.

Природный газ может образовывать **самостоятельные залежи** или быть попутным:

- **в угольных пластах** (ПУГ – попутные угольные газы)
- **в нефтяных пластах** (ПНГ – попутные нефтяные газы)

# Газовые гидраты (клатраты)



Твердые кристаллические соединения низкомолекулярных газов (метан, этан, пропан, бутан и др.) с водой, имеют кристаллическую решетку льда с молекулами газа внутри нее. Образуются в условиях низких температур в районах с развитием вечной мерзлоты.



- Внешне напоминают снег или рыхлый лед.
- Устойчивы при низких температурах и повышенном давлении; при нарушении указанных условий легко распадаются на воду и газ.
- Главным и самым распространенным природным газом-гидратообразователем является **метан**.
- Содержание метана в гидратах очень высоко: из одного кубометра (в стандартных условиях) можно получить более 160 куб. м метана.
- По содержанию энергии (теплотворной способности) газовые гидраты сопоставимы с битуминозной нефтью и нефтеносными песками

# Твердые каустобиолиты. Битумы

Продукты изменения (окисления) нефтей. Продуктами первой стадии окисления нефти являются мала и кир, затем следуют асфальты и озокериты.



**Кир**

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/45/Refined\\_bitumen.JPG/1200px-Refined\\_bitumen.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/45/Refined_bitumen.JPG/1200px-Refined_bitumen.JPG)



**Асфальт**

[https://kitavtoprom.ru/800/600/https/media.sn1.no/media/143806/standard\\_149248738\\_38\\_40858b503c\\_o.jpg](https://kitavtoprom.ru/800/600/https/media.sn1.no/media/143806/standard_149248738_38_40858b503c_o.jpg)



**Озокерит**

<https://terrastory.ru/wp-content/uploads/2021/02/ozokerit3.jpg>



**Озокерит**

<https://webmineral.ru/upload/d6d6ffff6b90654239f45ded24946e24d.jpg>

**Кир** – горная порода, представляющая собой смесь загустевшей нефти или асфальта с песчаным или глинистым материалом. Встречается в виде натёков в местах выхода нефтяных пластов на поверхность.



**Асфальтовое озеро Пич-Лейк.  
Тринидад**

<http://ocean-media.su/wp-content/uploads/2015/11/visit-the-worlds-largest-lake-made-of-asphalt.jpg>

**Озокерит** – порода буровато-желтого, зеленовато-желтого, бурого цвета. Состоит из смеси твердых углеводородов парафинового ряда с примесью жидких и газообразных; плавится при  $T$  58-85° С.

**Асфальт** – порода почти черного цвета, твердая, вязкая. Состоит из смеси смол (40-50%), масел (до 40%) и асфальтенов. Углерода 80-85%, водорода до 12%, серы, кислорода и азота до 2-19%.

# Образование исходного вещества и преобразование каустобиолитов нефтяного ряда в литогенезе

**Исходное органическое вещество** при образовании нефти и газа, согласно И.М. Губкину, – сапропель.

**Главные продуценты** – планктонные организмы и водоросли с высоким содержанием липидов (жироподобных веществ):

в водорослях – до 10-20 %,

в животных организмах и бактериях – до 30-50 %.

**Осадки**, наиболее благоприятные для концентрации органического вещества: глинистые, карбонатно-глинистые, глинисто-карбонатные, карбонатные.

**Условия захоронения:** субаквальные обстановки; быстрое захоронение; быстрая изоляция от кислорода.

**Условия диагенеза:** восстановительные (анаэробные) обстановки

**Осадочная порода, содержащая рассеянное органическое вещество, способное генерировать нефть и газ, называется нефтегазоматеринской свитой**

Возможные названия:

«нефтегазоматеринская свита» (НГМ-свита),

«нефтематеринская свита» (НМ-свита),

«газоматеринская свита (ГМ-свита)»,

«потенциально нефтегазоматеринская свита»,

«нефтегазопроизводящая свита»,

«нефтегазопроизводившая свита»

Нефтематеринская свита считается промышленно нефтегазоносной при содержании  $C_{орг} = 1$  млн. т/км<sup>2</sup>



- **Нижний предел концентрации Сорг в породе**, с которого начинается отдача углеводородов (в случае сапропелевого и/или существенно сапропелевого ОВ), является значение 0,1 % на породу – при средних градациях катагенеза.

По концентрациям в породах Сорг (вес. %) выделяют породы:

Нефтегазоматеринские породы

- 1) **со сверхрассеянной формой ОВ** ( $\text{Сорг} < 0,1$ );
- 2) **субдоманикоидные породы** (0,1-0,5);
- 3) **доманикоидные породы** (0,5-5,0);
- 4) **доманикитные породы** (5,0-25,0);
- 5) **собственно сапропелиты**, где Сорг > 25% (ОВ по объему превышает 50 % и является преобладающим породообразующим элементом)

НГМ-свиты известны во всех системах палеозоя, мезозоя и кайнозоя, а также в венде и рифее.

Наиболее распространены НГМ-свиты :

- верхнего девона-раннего карбона и верхней юры,
- а также нижнего-среднего кембрия, среднего ордовика, нижнего силура, нижней перми, нижнего мела-сеномана, олигоцена-миоцена.

# 1. Осадочно-миграционная теория происхождения нефти из ОБ

В процессе преобразования органического вещества при погружении его на глубину выделяют три основные фазы (стадии и зоны):

**Первая фаза** – подготовительная стадия нефтеобразования – *газогенерирующая зона*, соответствует диагенезу и раннему катагенезу,

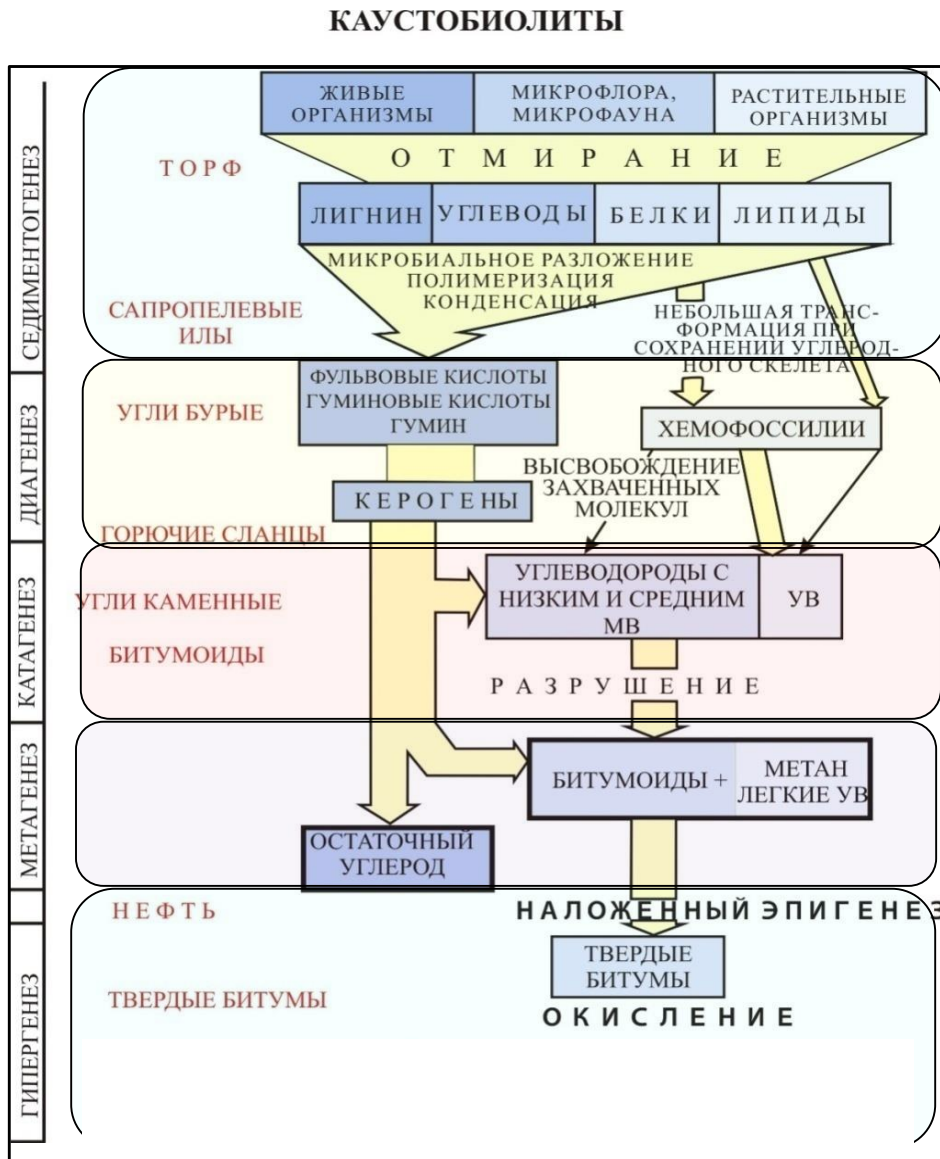
**Вторая фаза** – главная стадия нефтеобразования - *нефтегазогенерирующая зона*, отвечающая начальному этапу среднего катагенеза;

**Третья фаза** – затухающая стадия нефтеобразования - *нижняя газогенерирующая зона*, соответствующая позднему катагенезу (МК<sub>4</sub>-АК<sub>2</sub>).

**Схема генерации нефти и газа из ОБ на стадиях диагенеза и катагенеза (по Н.Б. Вассоевичу, С.Г. Неручеву [1]).**

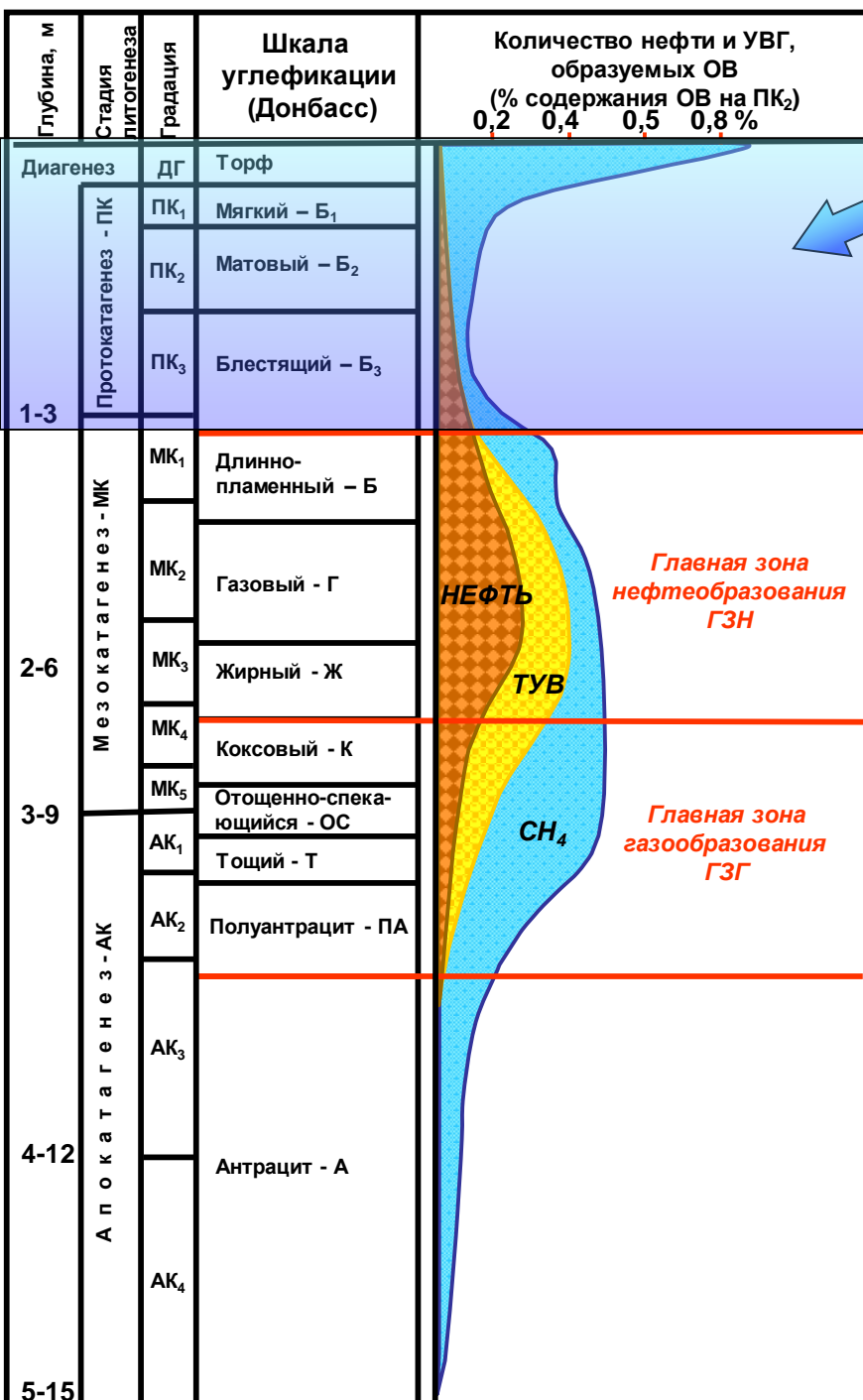
Стадии и подстадии литогенеза		Зона генерации УВ и масштабы их генерации	Температура °С	Средняя глубина (км) зон генерации в осадочных бассейнах, осушенных или покрытых мелководными морями	Стадии формирования нефти	
		 Жидкие углеводороды Газообразные углеводороды				
Диагенез			<i>Диагенетическая, газогенерирующая</i>	10...20	0,1...0,5	Подготовительная
Катагенез	ранний		<i>Катагенетическая верхняя, газогенерирующая</i>	20...65	0,5...1,5	
	средний		<i>Катагенетическая, нефтегазогенерирующая</i>	65...150	1,5...5	Главная
				150...250	5...7	
поздний	<i>Катагенетическая нижняя, газогенерирующая</i>		250...350	7...9	Затухающая	
Метагенез (метаморфизм)		<i>«Газового дыхания»</i>	> 350	> 9		

# • Схема преобразования органического вещества при стадийном литогенезе и эпигенезе



## КАУСТОБИОЛИТЫ

- |  |  |
|--|--|
| 1. СЕДИМЕНТОГЕННЫЕ<br>ТОРФ<br>САПРОПЕЛЕВЫЕ ИЛЫ     | 4. МЕТАГЕНЕТИЧЕСКИЕ<br>АНТРАЦИТЫ<br>АСПИДНЫЕ СЛАНЦЫ<br>ГАЗ |
| 2. ДИАГЕНЕТИЧЕСКИЕ<br>УГЛИ БУРЫЕ<br>ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ | 5. ГИПЕРГЕННЫЕ<br>ОЗОКЕРИТЫ<br>АСФАЛТЫ<br>КЕРИТЫ           |
| 3. КАТАГЕНЕТИЧЕСКИЕ<br>УГЛИ КАМЕННЫЕ, НЕФТЬ        |  |

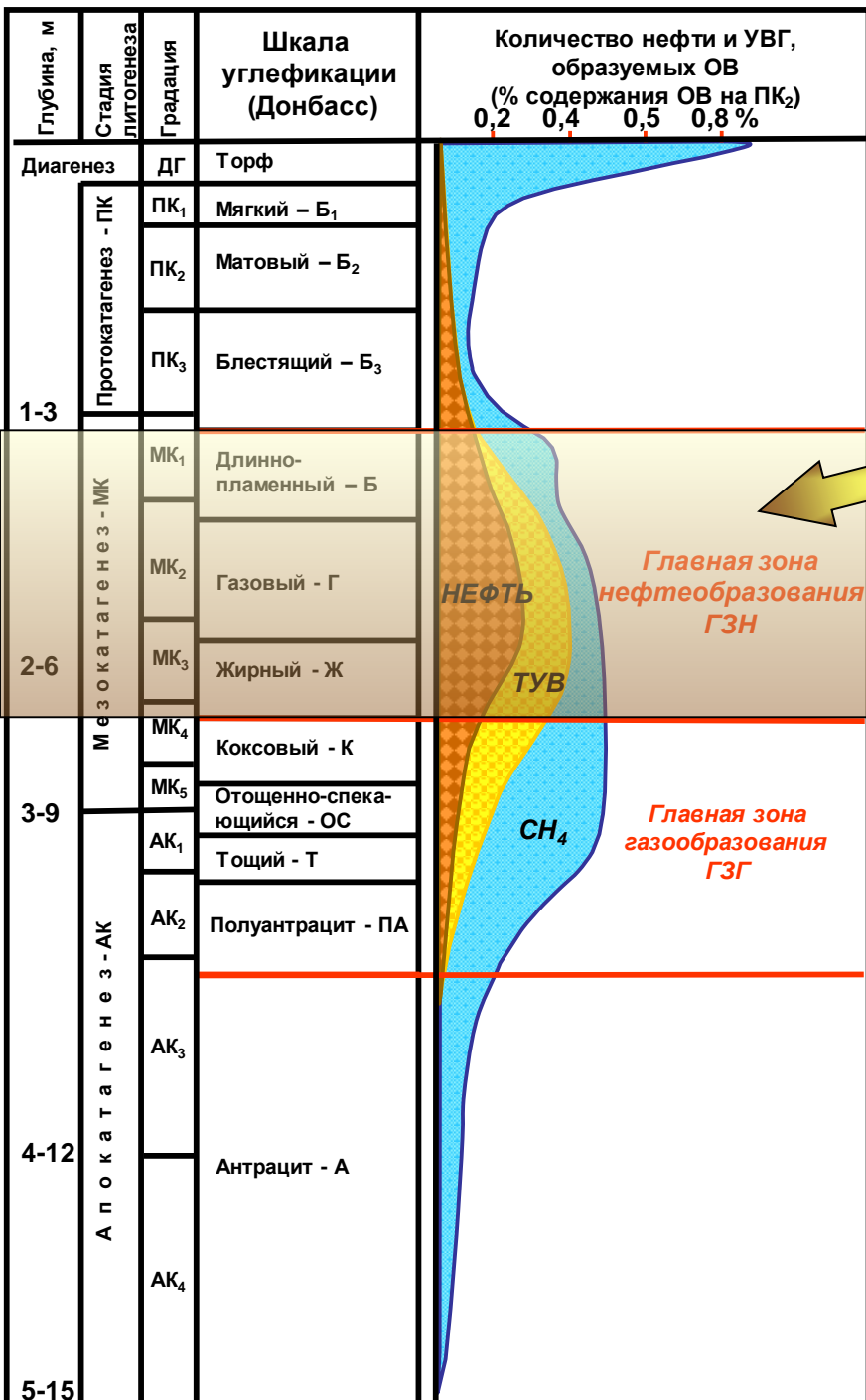


**1 фаза - газогенерирующая**  
(отвечает диагенезу и протокатагенезу – градации Д<sub>Г</sub>-ПК, степени преобразования ОВ от торфов до мягких, матовых и блестящих углей).

Трансформация ОВ в диагенезе происходит с большой потерей первоначальной массы и сопровождается генерацией газов биохимического происхождения: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, микрокомпонентами являются H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O, органические вещества. В морских субаквальных обстановках – еще и H<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S.

Из УВ образуется преимущественно метан (гомологи метана либо отсутствуют, либо фиксируются в незначительных концентрациях) в количестве до 5 % от общей массы ОВ.

Для нефтеобразования эта фаза является **подготовительной, фазой еще не созревшей микронефти**



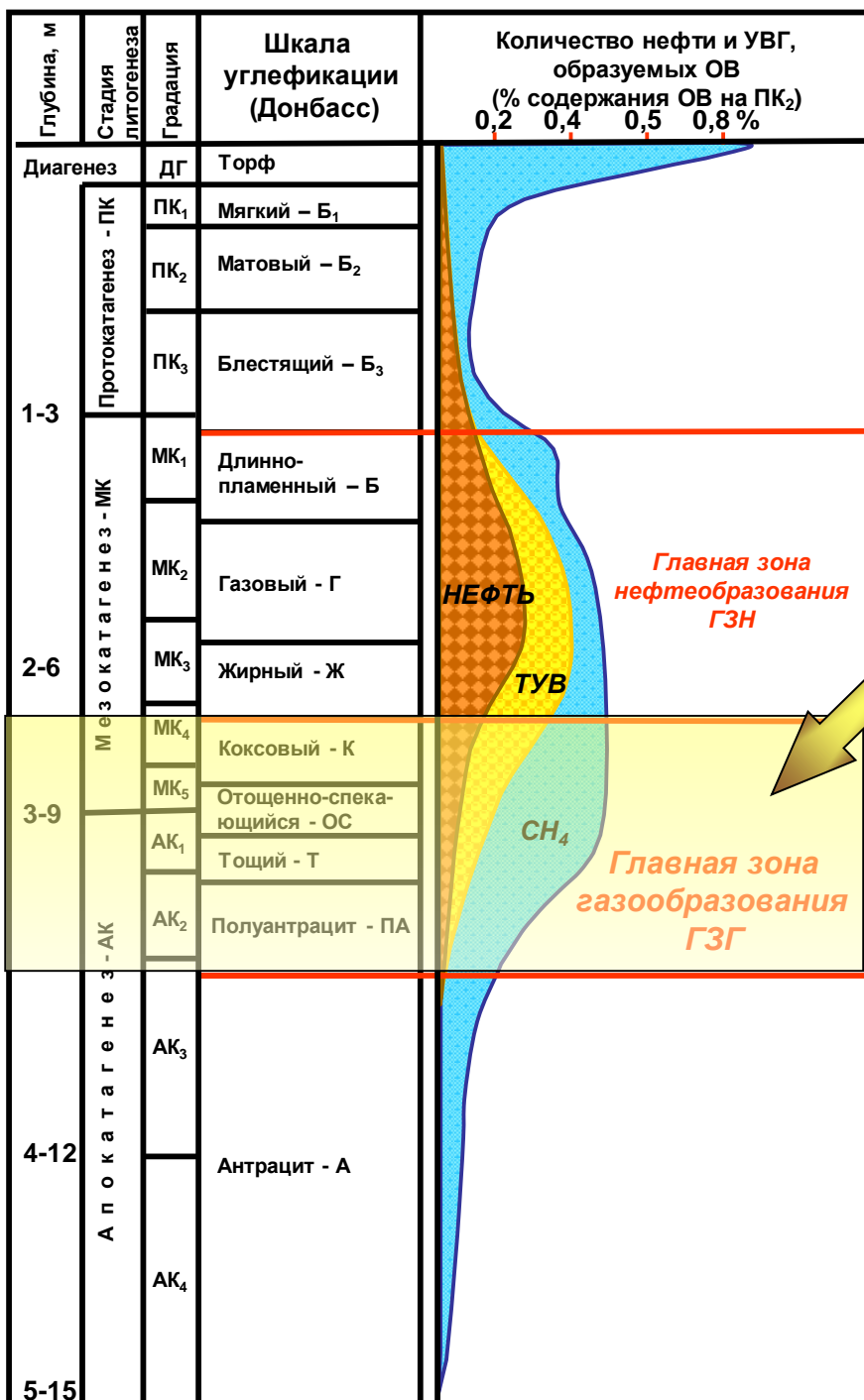
2 фаза – главная фаза нефтегазогенерирующая – главная фаза нефтеобразования (зона среднего катагенеза, отвечает этапам длиннопламенных, газовых и жирных углей градации МК<sub>1</sub>-МК<sub>3</sub>).

Происходит существенное преобразование молекулярной структуры ОВ с образованием значительного количества продуктов:

а) **газообразных** (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S);

б) **жидких** (H<sub>2</sub>O, нефтяные углеводороды).

Образование газообразных и жидких продуктов из твердого керогена происходит со значительным увеличением объема вещества (в 2-3 раза в пластовых условиях и в сотни раз – в нормальных).



3 фаза – главная фаза газообразования ГФГ (развивается в жестких термобарических условиях, характерных для среднего и позднего катагенеза - градации МК<sub>4</sub>-АК<sub>2</sub> - коксовые, отощенно-спекающиеся, тощие угли и полуантрациты)

Отличается тем, что ОВ генерирует газоконденсат и газ.

В конце этой фазы образуется главным образом метан.

Для нефтеобразования эта фаза является *затухающей*

**Этап ГФН является переломным в ходе катагенетического преобразования ОВ.**

**На этом этапе теряется более 75 % липидного резерва нерастворимой фракции сапропелевого ОВ. Разложение полимерлипидных компонентов сопровождается массовым образованием битуминозных продуктов и уходом из системы наиболее подвижных углеводородных фракций.**

**Деструкция и потеря полимерлипидных компонентов, богатых углеродом и водородом, приводит к остаточному накоплению в сапропелевом ОВ наиболее стойких гумоидных компонентов, характеризующихся более низким содержанием углерода и водорода и повышенным содержанием гетероэлементов.**

**В новообразованном ОВ к градациям катагенеза МК<sub>1</sub>-МК<sub>2</sub> отмечается снижение доли O+N+S, обусловленное повышением доли генерированных водорода и летучих компонентов.**

**Чем выше нефтематеринский потенциал сапропелевого ОВ, тем более значителен характер изменения параметров НОВ на этапе ГФН.**

## Преобразование гумусового ОВ

**Преобразование гумусового ОВ на этапах катагенеза сопровождается генерацией значительного количества газов, в том числе и углеводородных. Состав газов по основным компонентам ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ...) изменяется с глубиной погружения пластов в определенном порядке, образуя четыре зоны газов.**

Зона газов	Содержание, об. %		
	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{N}_2$
Азотно-углекислых	редко не более 10,0	20,0-80,0	20,0-80,0
Азотных	0,0-20,0	0,0-20,0	76,0-99,0
Азотно-метановых	20,0-80,0	0,0-20,0	20,0-80,0
Метановых	> 80	-	-



## Список использованной литературы

1. Фролов В.Т. Литология. Кн. 1: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 336 с.
2. Рухин Л.Б. основы литологии. Учение об осадочных породах. – Л.: Недра, 1969. – 703 с.
3. <http://www.kabinetgeo.narod.ru/photoosad1.htm>. Фотографии минералов и горных пород, в основном, сканированы из книги: Charles W. Chesterman. National Audubon Society Field Guide to North American. Rocks and Minerals. New York. 1998