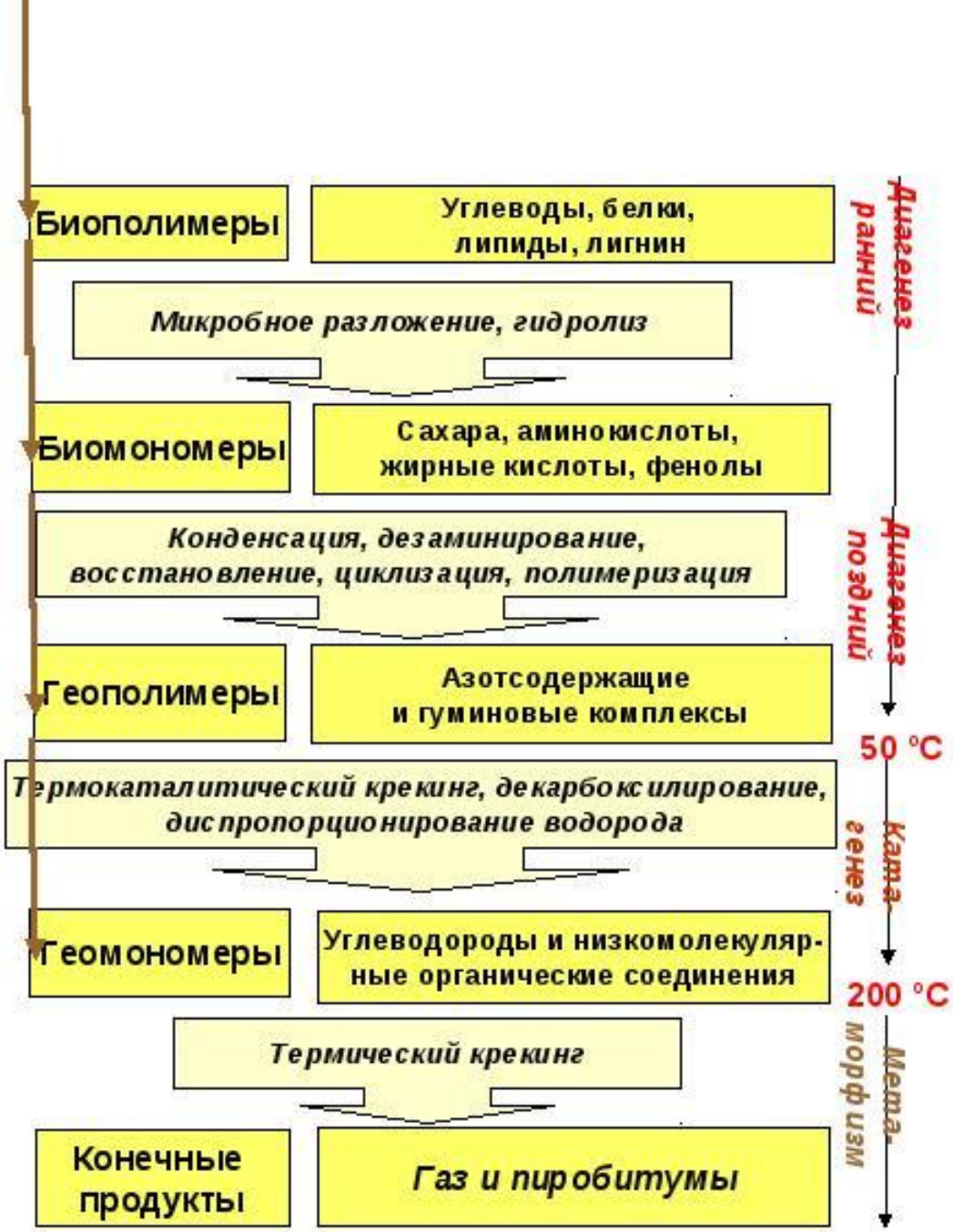
Образование каустобиолитов в осадочном чехле земной коры в процессе катагенеза ВОВ

НЕФТЬ [ναφτα (нафта)] – жидкий каустобиолит, исходное звено в классификационном спектре нафтидов. Генетически Н. представляет собой осособившийся в самостоятельные скопления концентрат жидких, преимущественно углеводородных, продуктов преобразования в осад. толще захороненного орг. вещества. Состоит из углеводородов метанового, нафтенового и ароматического рядов с примесью сернистых, азотистых и кислородных соединений. Свойства Н. весьма широко варьируют: уд. в от 0,75 до 0,96-0,97, обычно 0,80-0,90; содер. серы от 0,1 до 5%, иногда выше; содер. парафина от следов до 10% и выше; содер. асфальто-смолистых веществ от следов до 35% (граница между Н. и мальтами), обычно 5-10%, в сернистых Н. более, чем в малосернистых. По фракционному составу известны Н., состоящие в основном из бензино-керосиновых фракций и Н., лишенные бензина 20-30%. Углеводородный состав дистиллатной части Н. также колеблется в широких пределах – от практически почти чисто метанового до преобладающе циклического. Наибольшее распространение имеют легкие метановые и метаново-нафтеновые малосернистые Н. и относительно легкие сернистые Н. с содер. серы до 2 %. См. *Классификация нефтей.*

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ
(изд-во Недра. Москва, 1973г.)



Изменение органического вещества, по Дж. Ханту

В ***позднем диагенезе*** в результате процессов

- конденсации,
- дезаминирования,
- восстановления,
- циклизации и
- полимеризации образуются геополимеры (азотсодержащие и гуминовые комплексы).

Диагенез осажденного органического вещества завершается на глубине, для которой характерны снижение количества извлекаемых гумусовых кислот до минимального уровня и удаление большей части карбоксильных групп.

Это явление фиксируется на границе перехода бурых углей в каменные при отражательной способности витренита, равной 0,5 %.

Таблица 2.1

Образование и преобразование каустобиолитов угольного ряда

Исходный продукт	Месторождения	Первичный продукт образования	Вторичный продукт преобразования	Продукты этапов преобразования	Продукты дальнейшего преобразования	Конечный продукт
Высшие растения, низшие организмы	Отложения торфяных болот	Торфы гумусовые	Бурые угли, гумусовые лигниты, гагаты	Различные по степени углефикации каменные угли*	Антрациты**	Графит
	Отложения озер и болот	Торфы гумусово-сапропелевые	Бурые угли, гумусо-сапропелитовые, полубогхеды			
	Отложения озер и морских водоемов	Сапропели пресноводные, морские	Сапропелиты дизодил, богхеды, горючие сланцы			

*Длиннопламенные угли ($МК_1$) → газовые угли ($МК_2$) → жирные ($МК_3$) → коксовые (($МК_4$) → отощенно-спекающиеся ($МК_5$) → тощие ($АК_1$) → полуантрацит ($АК_2$) → антрацит** (АК3).

Соотношение палеотемператур и отражательной способности витринита (по И.И. Амосову, 1961)

Марка угля	ОС витринита, 10 R[a]	Палеотемпература, °С
Б	71	95
Д	72–77	100–130
Г	78–84	135–165
Ж	85–95	170–205
К–ОС	96–110	210–230
Т	До 115	230–250
ПА–А	Более 115	Более 250

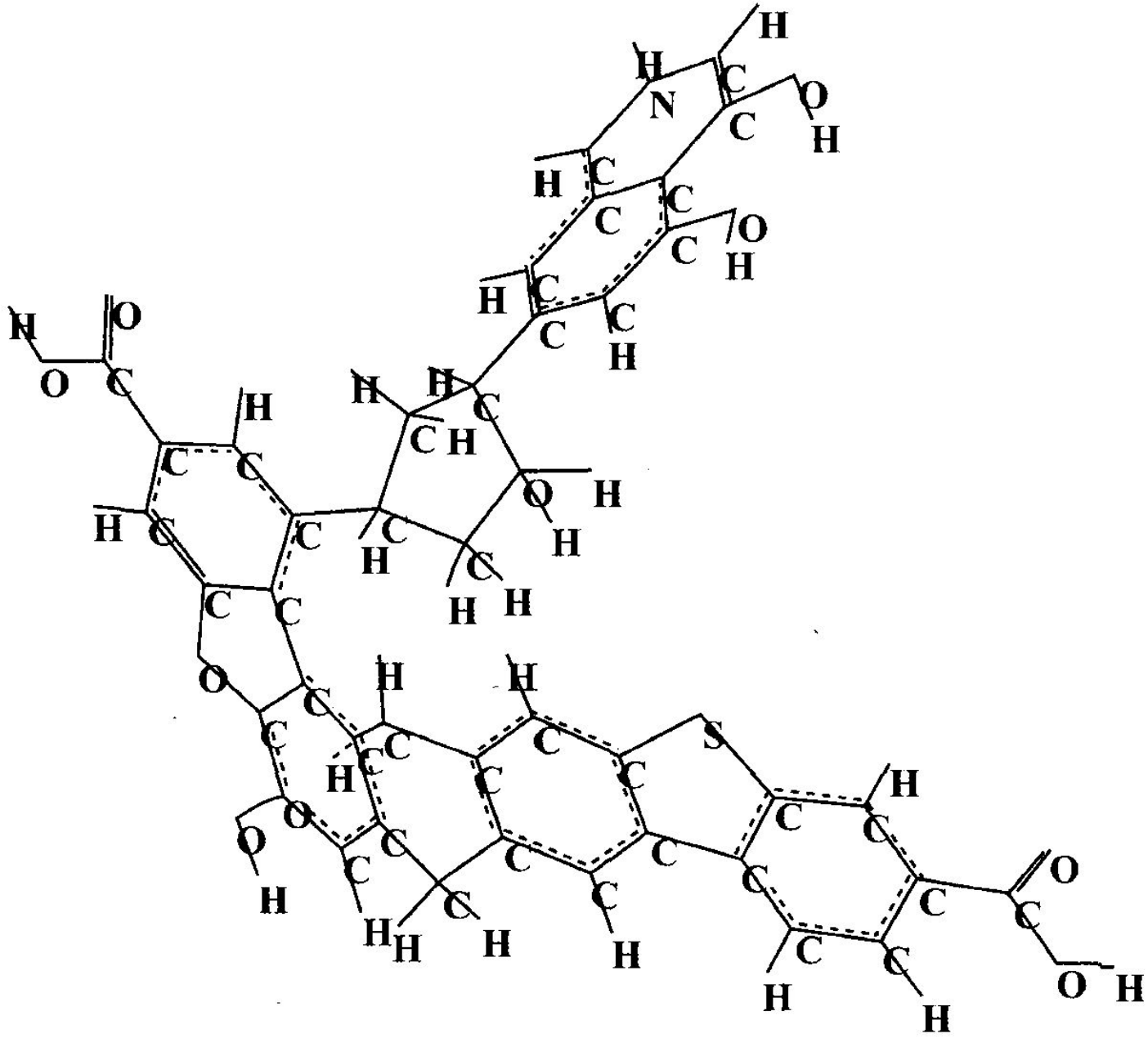


Рис. 2.3. Модель среднестатистической структурной единицы органической массы бурого угля Бородинского месторождения (М.А. Гюльмалиева, 2009)

Закономерности изменения содержания нормальных алканов в торфе и углях на разных стадиях углефикации

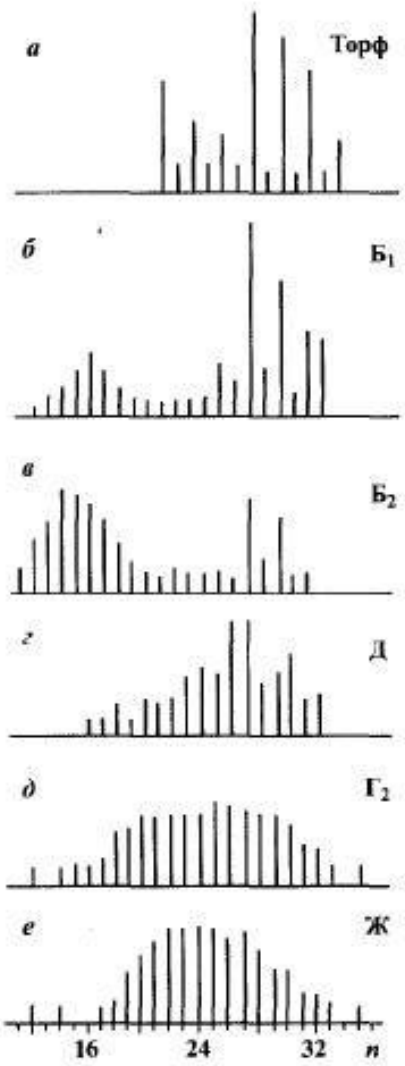


Рис. 2.7. Гистограммы распределения нормальных алканов в торфе и углях различных стадий углефикации (метаморфизма) (по Ал.А. Петрову, 1984):
а – торф; *б*, *в* – бурые угли; *г–е* – каменные угли. На оси абсцисс указано число атомов углерода

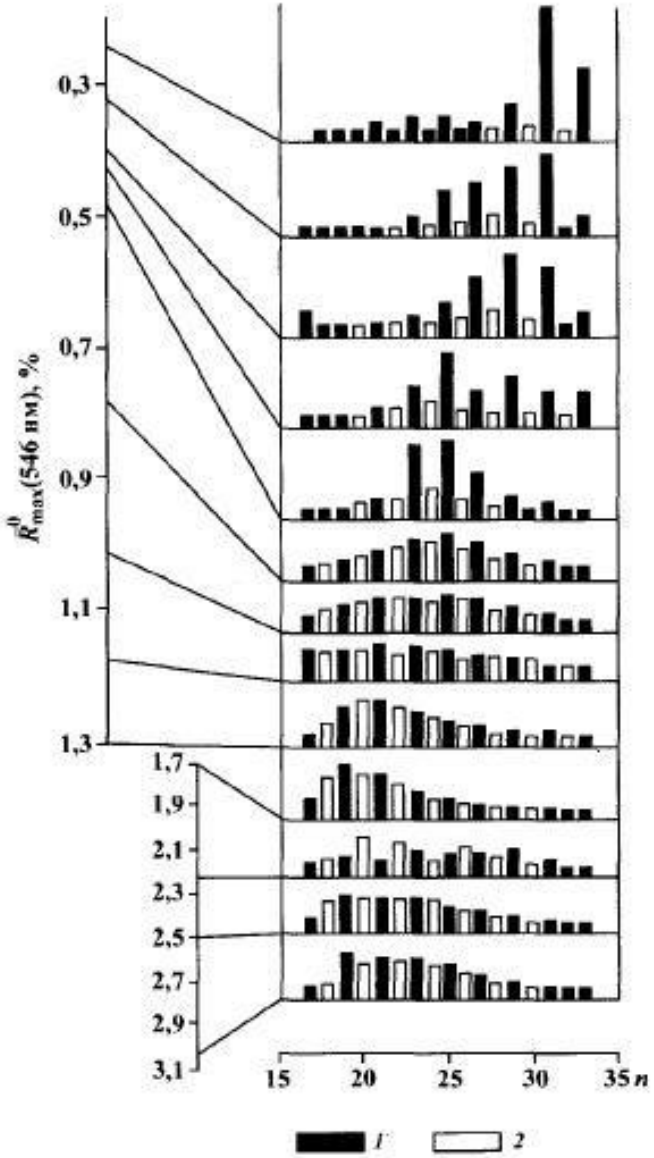


Рис. 2.8. Относительное распределение нормальных алканов в углях различных стадий углефикации и связь между составом алканов и величиной отражательной способности витринита (R_o) (по Ал. А. Петрову, 1984):
1 – нечетные алканы; *2* – четные алканы; *n* – число атомов углерода

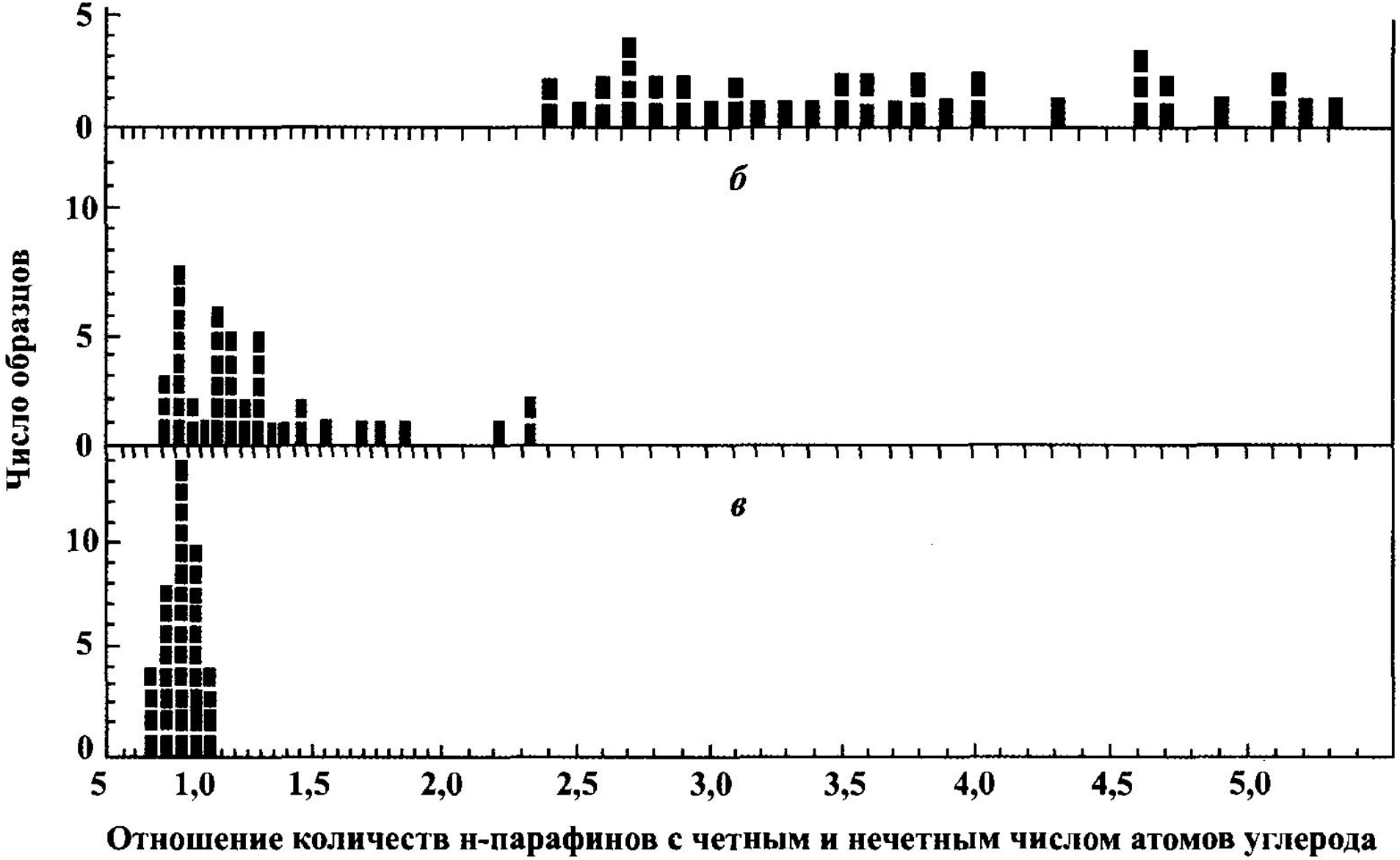
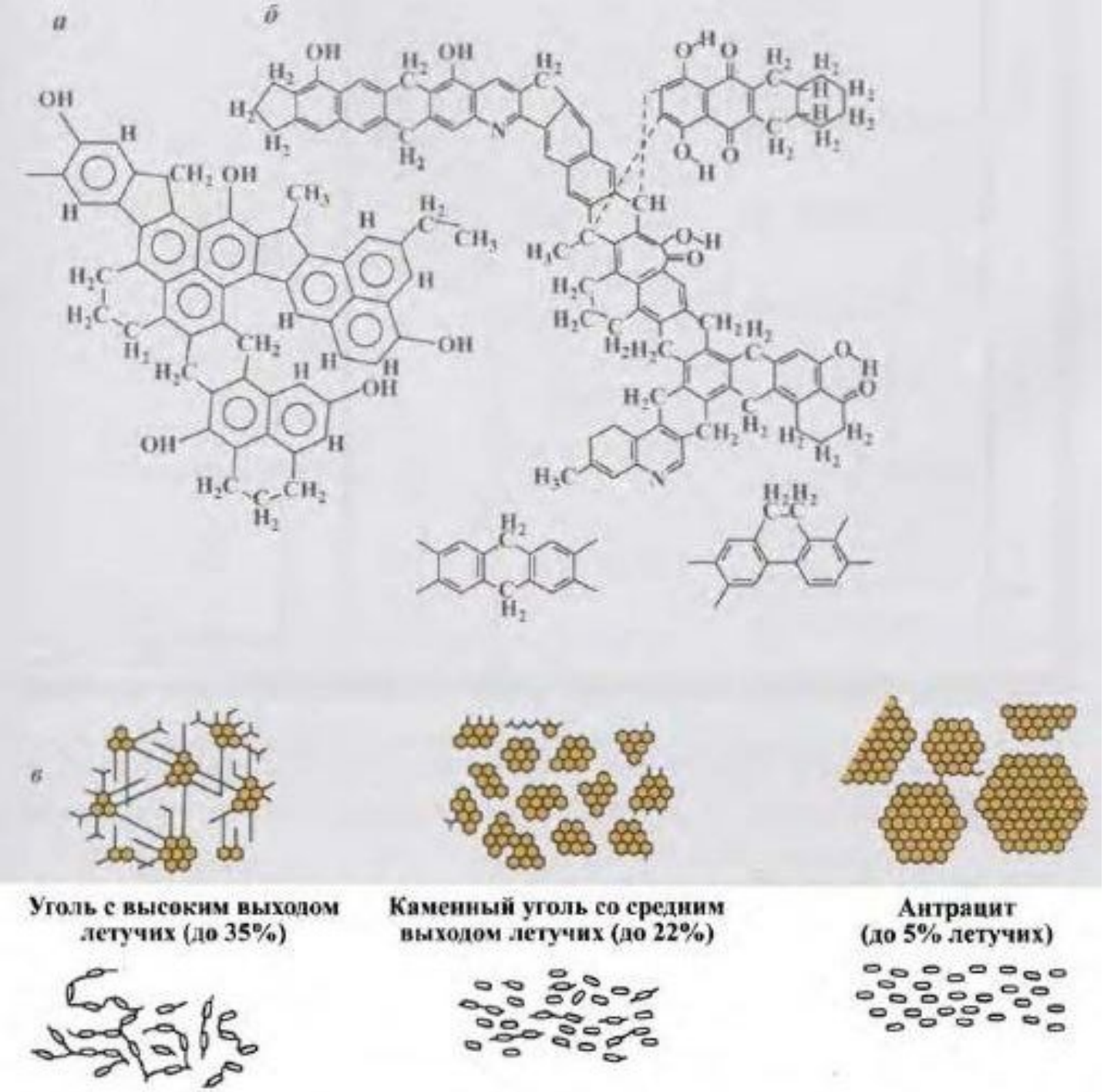
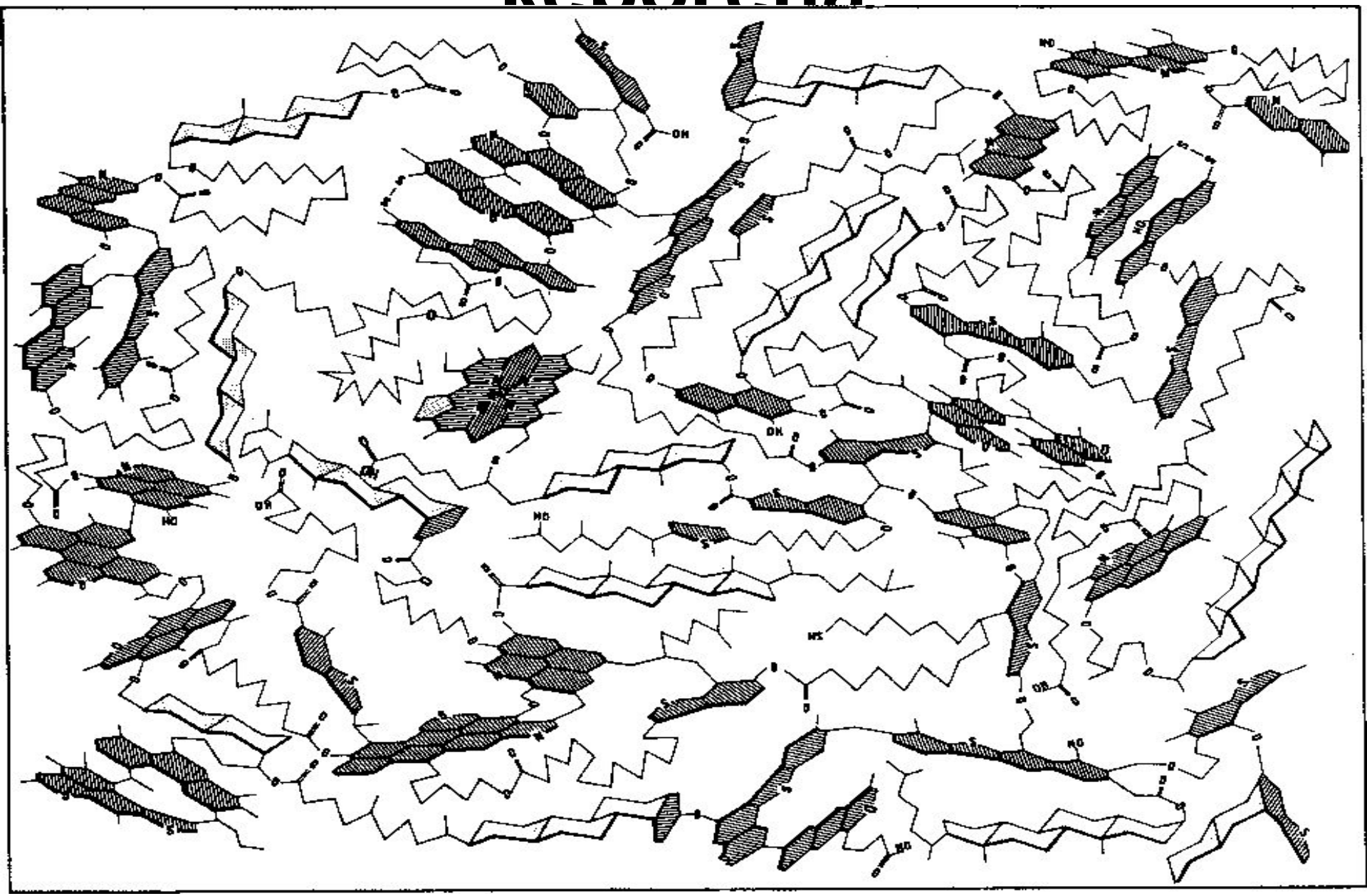


Рис. 3.23. Распределение алканов нормального строения с четным и нечетным числом атомов углерода в современных осадках (*а*), осадочных породах (*б*) и нефтях (*в*) (Э. Брей и Э. Эванс, 1962)



Общий характер химической структуры углей (Б. Тиссо и Д. Вельте

Молекулярная структура керогена



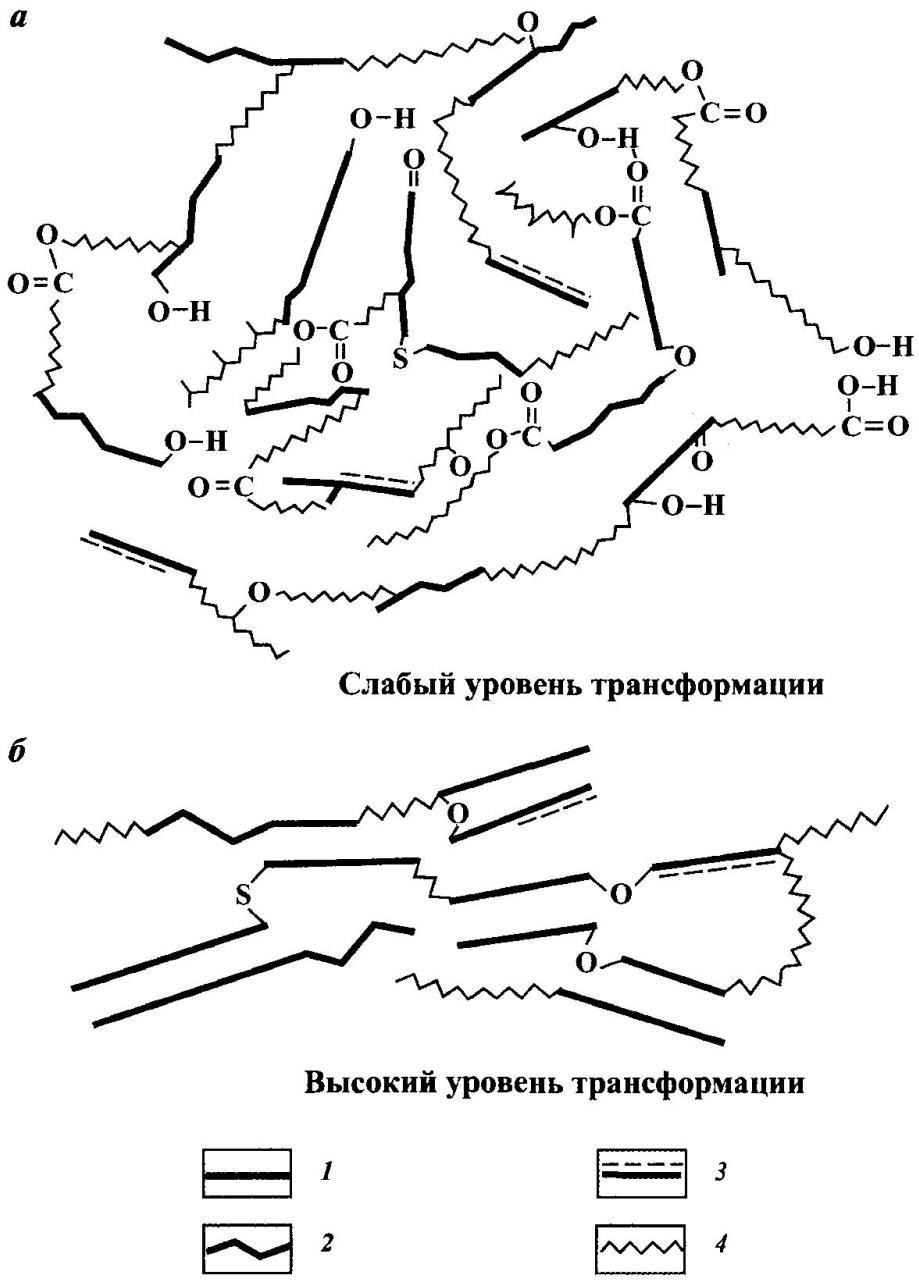
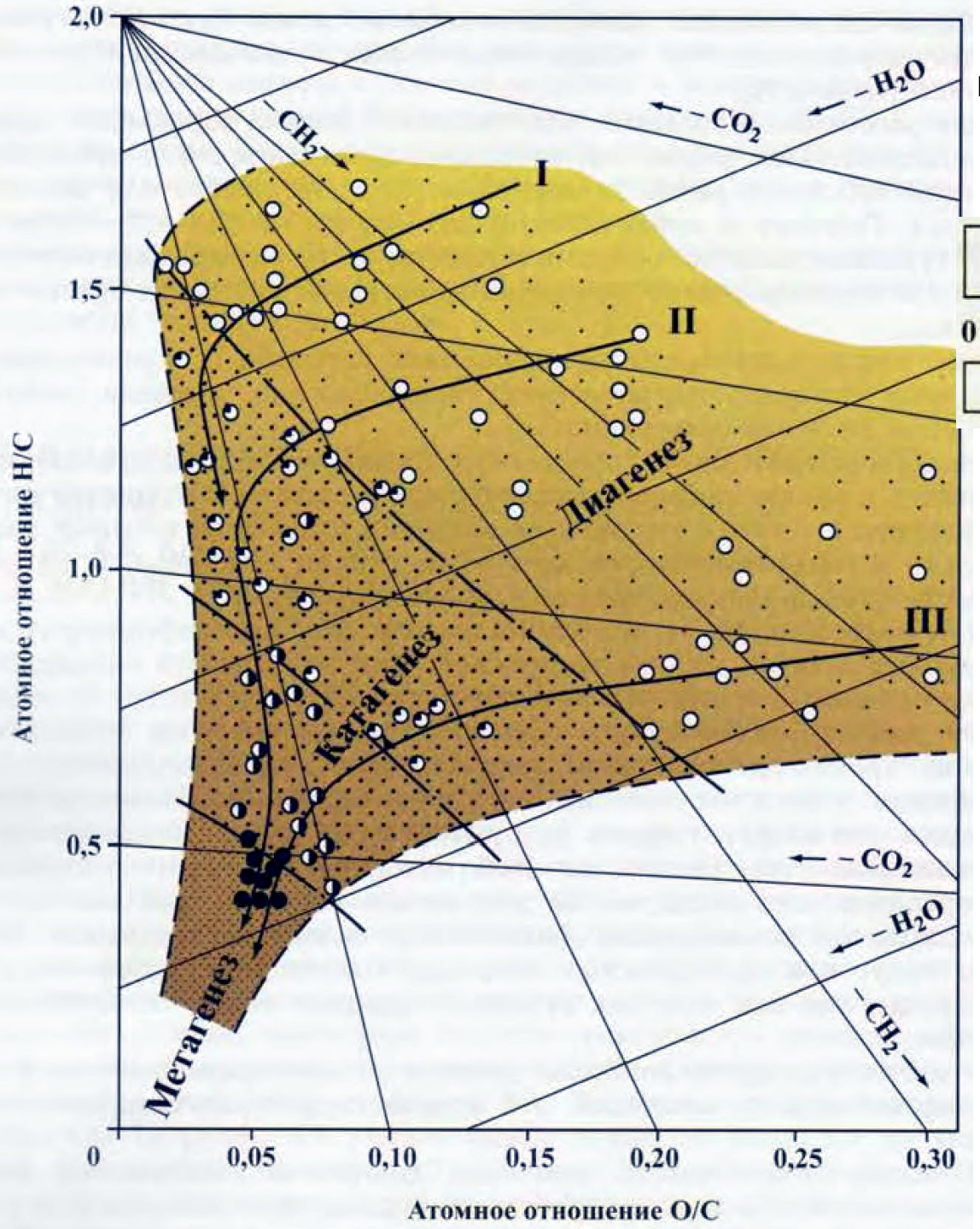
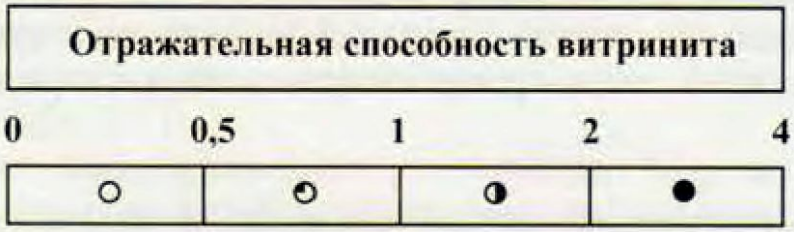


Рис. 3.29. Схематическая молекулярная структура керогена (Б. Тиссо и Дж. Эспитале, 1975): *а* – незрелый кероген, находящийся на низкой стадии преобразования; *б* – тот же кероген, после завершения катагенеза, высокая стадия преобразования; *1* – ароматические циклы; *2* – насыщенные циклы; *3* – гетероциклы; *4* – алифатические цепи

Диаграмма Ван Д. Кревелена





Характеристика различных типов керогена (по Б. Тиссо, Д. Вельте, 1981)

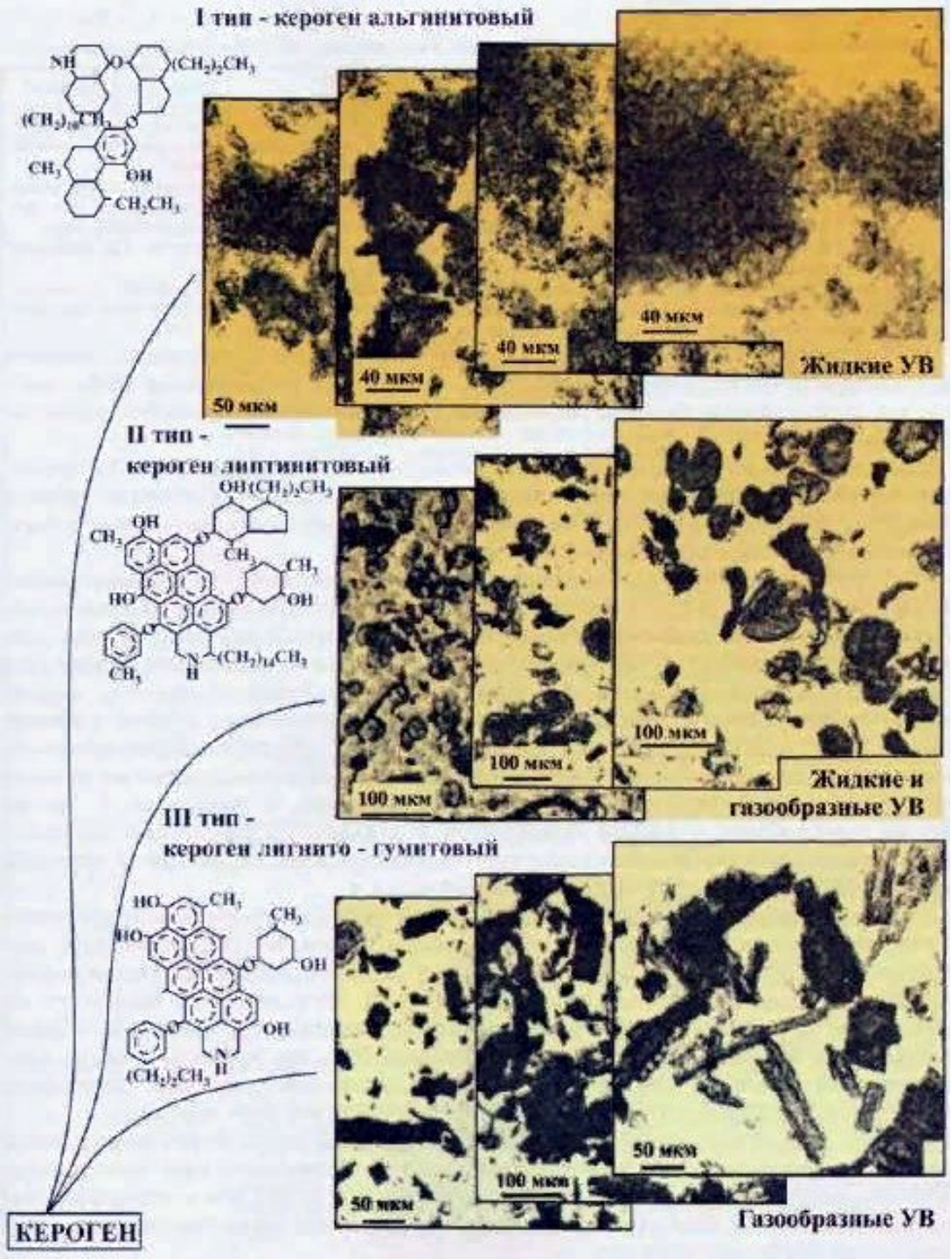
Тип керогена	Характерные признаки	Образование	Примечание
I	Высокое содержание водорода и низкое углерода (начальное атомное отношение $H/C_{ат}$ высокое – более 1,5. Кислород находится главным образом в сложноэфирных связях. В керогене преобладают алифатические структуры. Содержание полиароматических ядер и гетерогенных связей не велико	Сформировался в основном за счет водорослевых и микробных липидов	Характерен для некоторых типов горючих сланцев: тасманитов, торбанитов, купгонитов, горючих сланцев «Грин Ривер». Встречается довольно редко. Генерирует преимущественно жидкие углеводороды
II	Содержание водорода достаточно высокое, но меньше, чем в I типе, а кислорода – более высокое. В составе полиароматические ядра, гетероатомные группы кетонов, карбоксильные группы кислот и сложноэфирные связи. В гетероциклах обычно присутствует сера.	Формируется в результате отложения и накопления морских организмов: фито- и зоопланктона, бактерий с участием привнесенного в бассейн седиментации ОВ высших растений	Основная масса керогена в шлифах определяется как микстинит с примесью альгинита и витринита. Петрографический тип – лейптинит. Является источником углеводородов для большого числа нефтяных месторождений, в том числе и гигантских. Генерирует жидкие и газообразные углеводороды
III	Содержание водорода незначительное ($H/C_{ат} < 1$, $O/C_{ат} = 0,2–0,3$). В составе преимущественно конденсированные полиароматические ядра и кислородсодержащие функциональные группы при отсутствии сложноэфирных группировок. Характерны алифатические цепочки, унаследованные от восков высших растений	Образовался в основном из растительных остатков	Характерен для континентальных окраин и дельтовых толщ. Генерирует преимущественно газообразные углеводороды

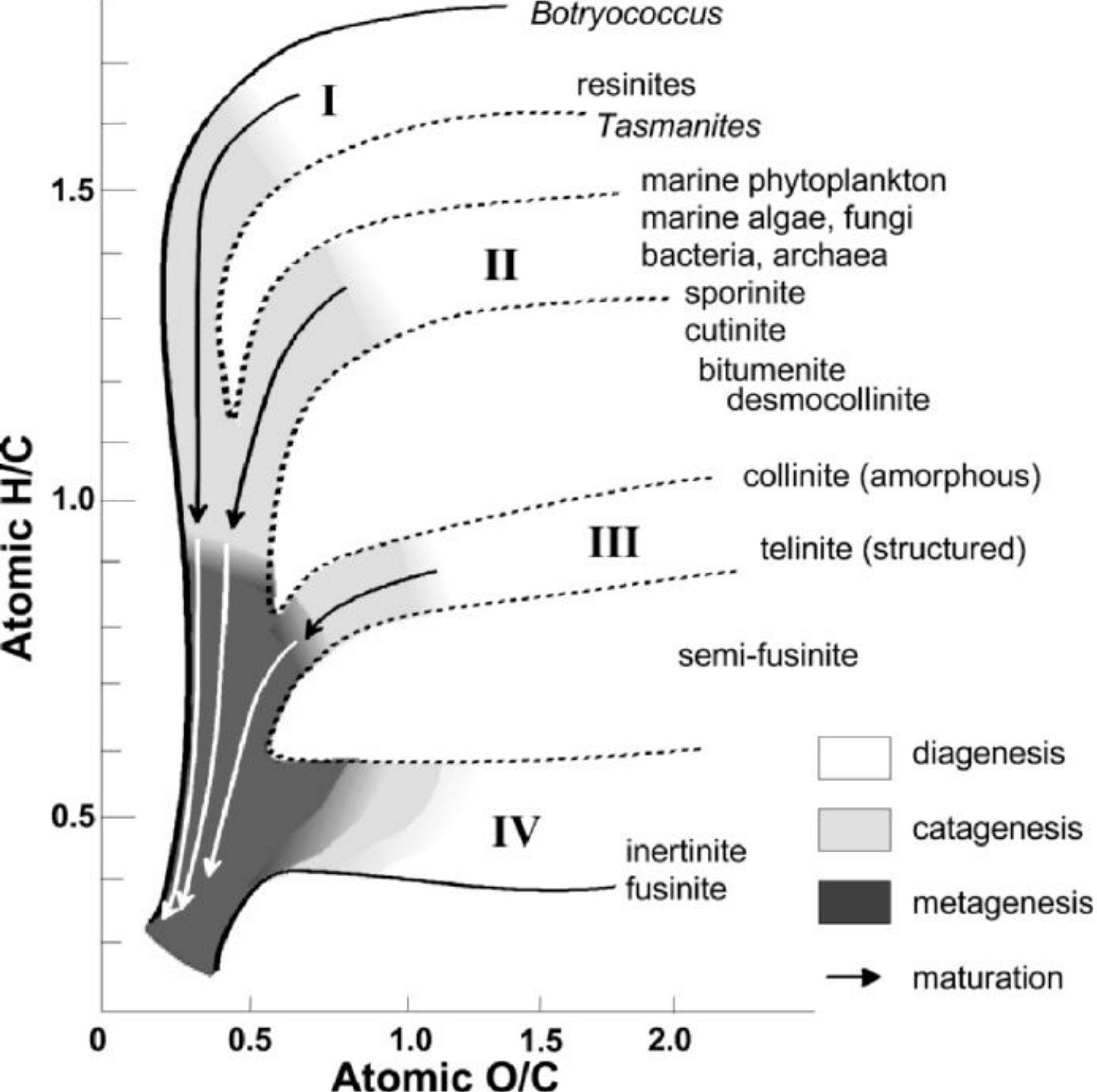
Таблица 3.14

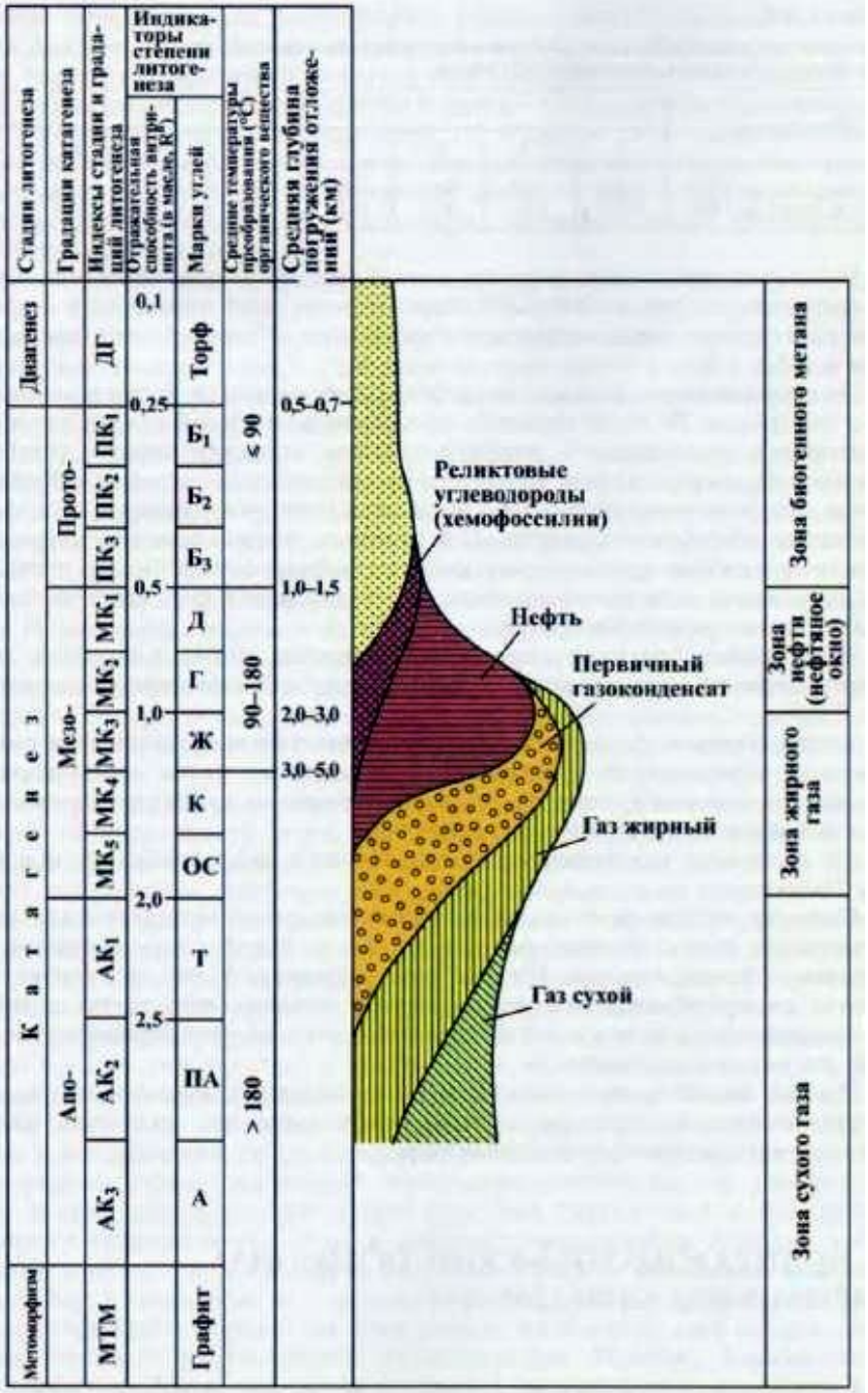
Характеристика четырех типов керогена (по Мак Кирдли)

Тип керогена	Характеристика
I	Обогащен водородом. В продуктах генерации преобладают н-алканы, ароматических соединений очень мало. Мацеральный эквивалент – альганит
II	Смесь обогащенного липидами сапропелевого и гумусового органического вещества. Отношение $H/C_{ат}$ изменяется от 0,75 до 1,29. Пристан преобладает над фитаном. Содержание н-алканов и длина их цепей меньше, чем в керогене I типа
III	Является гетерополиконденсатом водорослевых гуминовых веществ. По элементному составу сходен с витринитом ($H/C_{ат}$ = 8,3–0,54)
IV	Обеднен водородом. По составу близок к фюзиниту ($H/C_{ат}$ = 0,54–0,28)

Структура разных типов керогена




Botryococcus
resinites
Tasmanites
marine phytoplankton
marine algae, fungi
bacteria, archaea
sporinite
cutinite
bitumenite
desmocollinite
collinite (amorphous)
telinite (structured)
semi-fusinite
inertinite
fusinite
I
II
III
IV
diagenesis
catagenesis
metagenesis
maturation
Atomic H/C
Atomic O/C
0
0.5
1.0
1.5
2.0



Общая схема образования УВ на различных стадиях погружения осадков (А.А. Петров, 1984)

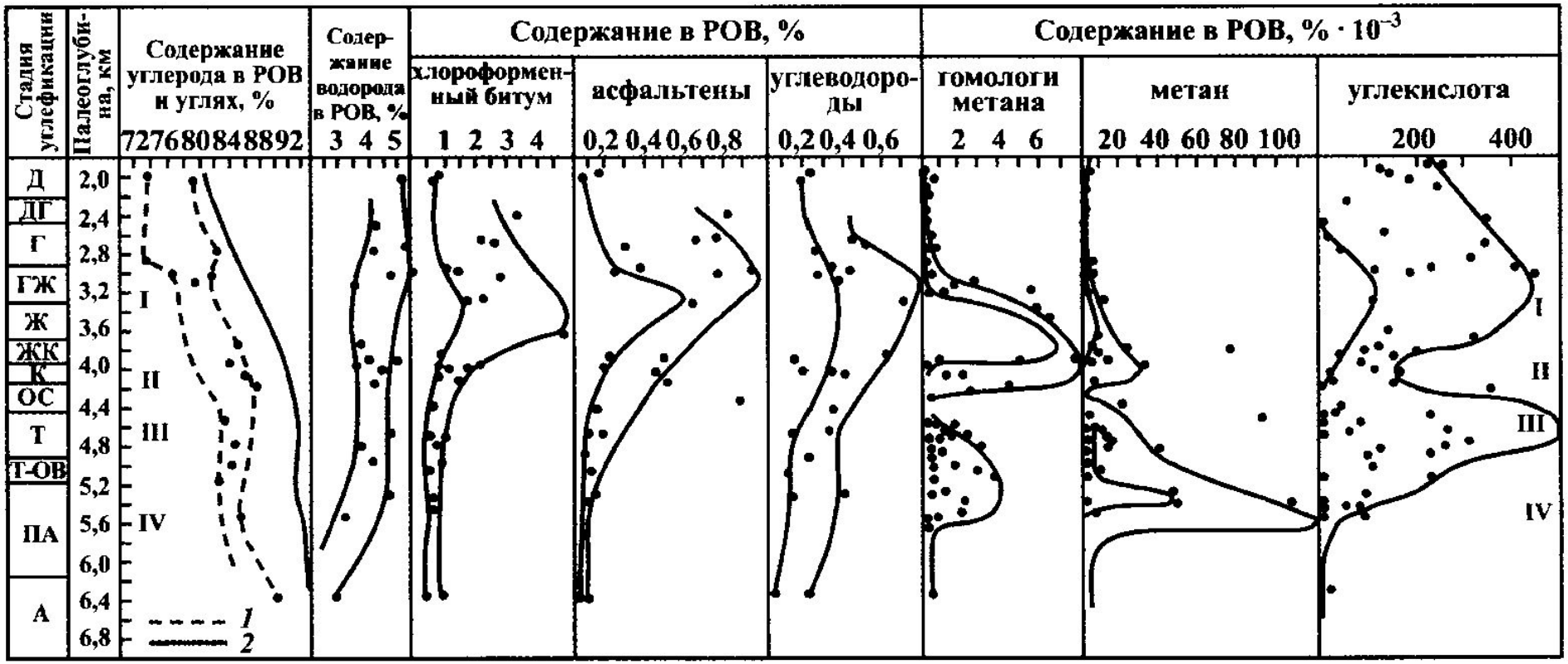
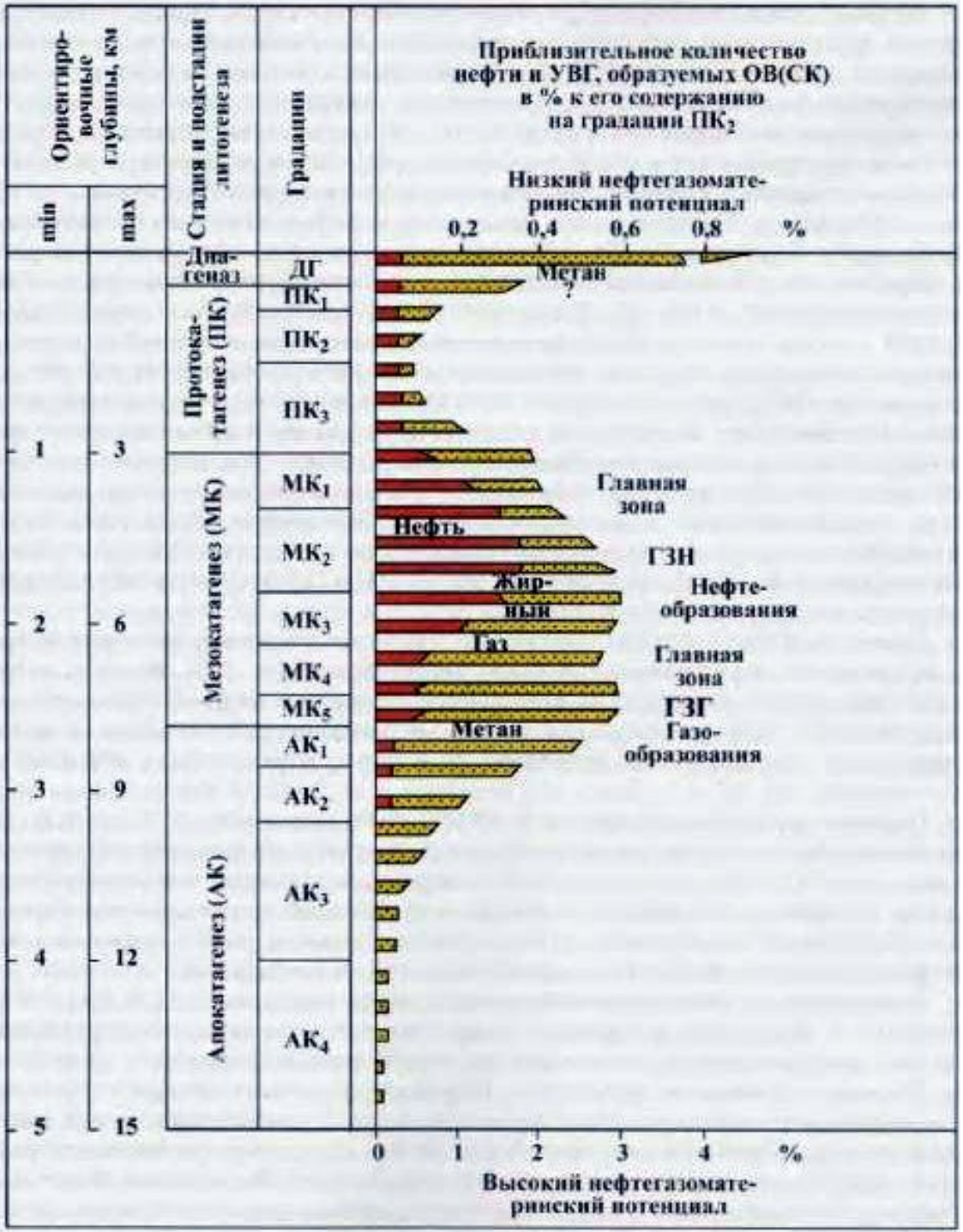


Рис. 3.34. Изменение характера распределения компонентов рассеянного органического вещества глинистых пород среднего карбона (Донбасс) в процессе катагенеза (С.Г. Неручев, Н.Б. Вассоевич, Н.В. Лопатин, 1976):

1 – рассеянное органическое вещество; *2* – угли I–IV – уровни, отвечающие переломным моментам изменений в составе рассеянного органического вещества. Для удобства восприятия этой схемы, объяснения мы свели в табл. 3.22



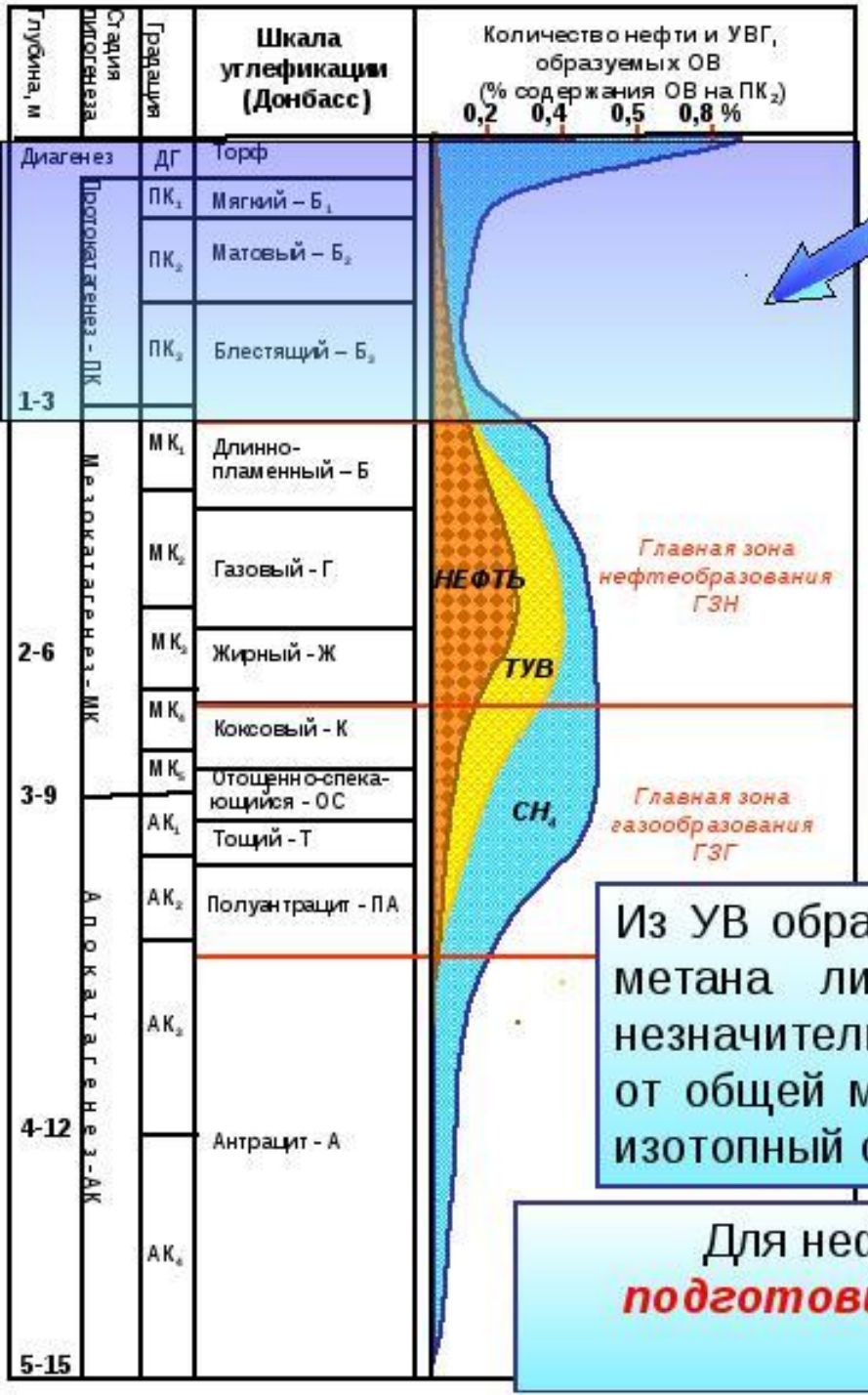
Стадии катагенеза РОВ относительно глубины залегания (по Н.Б. Вассоевичу)

Три стадии нефтегазообразования:

- **1)** *подготовительная (***диагенез и ранний катагенез);**
- **2)** *главная,* **отвечающая начальному этапу среднего катагенеза;**
- **3)** *затухающая,* **соответствующая позднему этапу катагенеза и позднему катагенезу.**

Главная фаза нефтеобразования (ГФН), соответствующая среднему катагенезе, осуществляется на глубине от 1 до 3,5 км при температуре от 60 до 130 °С. На этих глубинах образуются высококипящие углеводороды (температура свыше 325 °С), появляются низкокипящие (ниже 325 °С) жидкие углеводороды C_6 — C_{13} в битумоидной фракции органического вещества. ГФН завершается при исчерпании ресурсов нефтеобразующих компонентов органического вещества.

На стадии позднего катагенеза (температура 160-170 °С) процессы нефтеобразова затухают, а усиливаются процессы образования газа метана. На последнем этапе позднего катагенеза прекращается и выделение метана.

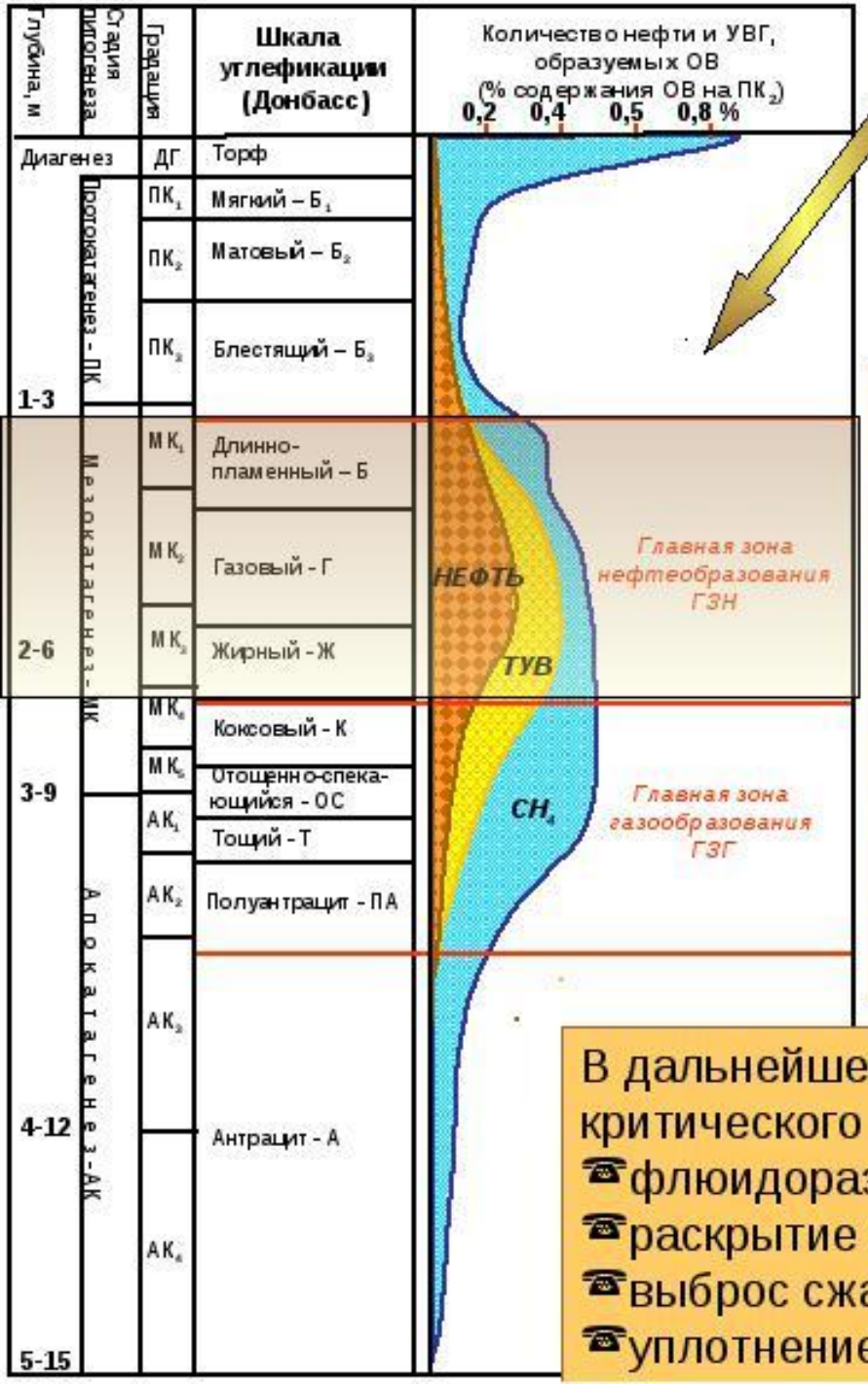


1 фаза - газогенерирующая
(отвечает диагенезу и протокатагенезу – градации Д-ПК, степени преобразования ОВ от торфов до мягких, матовых и блестящих углей).

Трансформация ОВ в диагенезе происходит с большой потерей первоначальной массы и сопровождается генерацией газов биохимического происхождения: CH_4, CO_2, N_2, микрокомпонентами являются H_2, CO_2, NH_3, H_2O, N_2O, органические вещества. В морских субаквальных обстановках – еще и H_3 и H_2S.

Из УВ образуется преимущественно метан (гомологи метана либо отсутствуют, либо фиксируются в незначительных концентрациях) в количестве до 5 % от общей массы ОВ. Он имеет характерный легкий изотопный состав: ***$\delta^{13}C$ от -50 до -90 ‰.***

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 $МК_1$-$МК_3$).

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). Это приводит в зонах интенсивного нефтегазообразования к временному:

- разуплотнению пород,
- повышению пористости,
- возникновению АВД – до 100-200 атм выше нормального гидростатического.

В дальнейшем при превышении давления выше критического происходят:

- флюидоразрыв пород,
- раскрытие системы трещин,
- выброс сжатых флюидов
- уплотнение пород до нормального уровня [2].