

Томский политехнический университет

УГОЛЬ



Структура потребления первичных энергетических ресурсов (по Н.П. Лаверову)

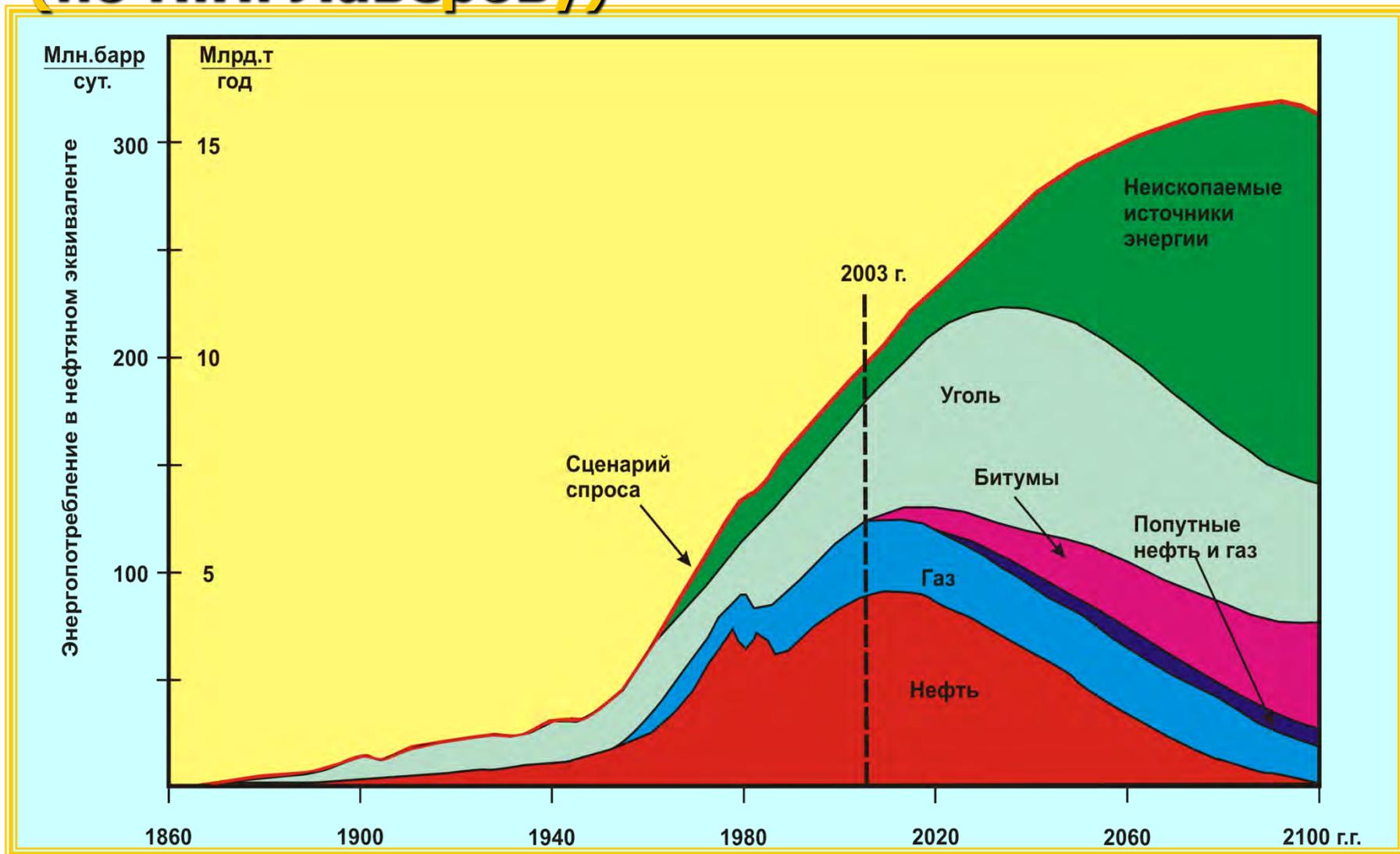
Мир



Россия



Прогноз изменения доли основных видов энергосырья в обеспечении мирового энергопотребления (по Н.П. Лаверову)



Ископаемый уголь – твердая горючая осадочная порода, образовавшаяся преимущественно из отмерших растений в результате их биохимических, физико-химических и физических изменений.

Кроме органического вещества, представленного различными мацералами, уголь содержит массу **неорганических веществ и воду.**

Если содержание органического вещества $>50\%$ - это уголь, если $< 50\%$ - углистая порода (углистый аргиллит, углистый сланец и др).

Первые представления об угле, как продукте образовавшемся из растений, высказывались еще в античные времена **Анаксимандром** (VI - VIIв. до н. э.) и **Аристотелем** (IVв. до н. э.).

Однако, наиболее полно развить их удалось священнику **Беролдингену**, который в 1792г. *дал схему последовательного перехода торфа в бурый и каменный уголь*. Торф он разделил на **дерновой, топяной и болотный**, а уголь - на **бурый и каменный**, выделив в последнем разновидности, отражающие его естественный состав.

Надо признать, что наука о горючих полезных ископаемых того времени поразительно отставала от других наук. Если в области первой раскрывались во многом почти очевидные явления, то, например, в физике уже была построена классическая механика, открыты электричество, инфракрасные и ультрафиолетовые лучи, разработана динамика абсолютно твердого тела и пр. Поэтому не случайно, что такой проницательный естествоиспытатель, как упомянутый Беролдинген, в то время еще считал, что **причиной извержения вулканов являются подземные пожары в глубоко залегающих пластах каменного угля**.

Виды угля

Бурый уголь

Каменный уголь

Антрацит

Бурый уголь – низший член углефикационного ряда. Различают мягкие и плотные разновидности бурых углей.

Мягкие разновидности углей с остатками и фрагментами обуглившейся древесины у нас называют *лигнитами*.

В западной практике *Lignite* – любой бурый уголь.

Влажность мягких бурых углей изменяется в пределах 40-60%.

Влажность плотных углей 17-40 %.

Высшая теплота сгорания на сухое беззольное топливо колеблется в пределах 25,5-33,5 МДж/кг. Низшая теплота сгорания рабочего топлива: мягких - 6,1-13,8; плотных – 9,0-18,8 МДж/кг.

Каменный уголь - твердая плотная, преимущественно полосчатая, реже однородная порода черного или серо-черного цвета с блестящей полуматовой или матовой поверхностью. Содержание углерода повышается от 74 до 92%, а кислорода уменьшается от 26 до 2% со степенью углефикации. Содержание влаги снижается от 16 до 4,6%.

Высшая теплота сгорания на сухое беззольное топливо – 30,5-36,8 МДж/кг.

Каменный уголь обладает широким диапазоном свойств, поэтому его делят на марки: Д, Г, Ж, К, СС, ОС, Т и др.

Антрацит – наиболее углефицированная (содержание углерода в органическом веществе 89-98 %) разновидность ископаемого угля. Плотная порода серовато-черного или черно-серого цвета с ярким металловидным блеском. Обладает высокой плотностью ($1,42-1,8 \text{ г/см}^3$), низким удельным электросопротивлением, высокой микротвердостью. Широкий диапазон применения. Горит почти без пламени и без дыма в потоке воздуха.

Высшая теплота сгорания на сухое беззольное топливо – $33,5-35,2 \text{ МДж/кг}$.

Образование угля

HUGE FORESTS GREW AROUND
300 MILLION YEARS AGO
COVERING MOST OF THE EARTH

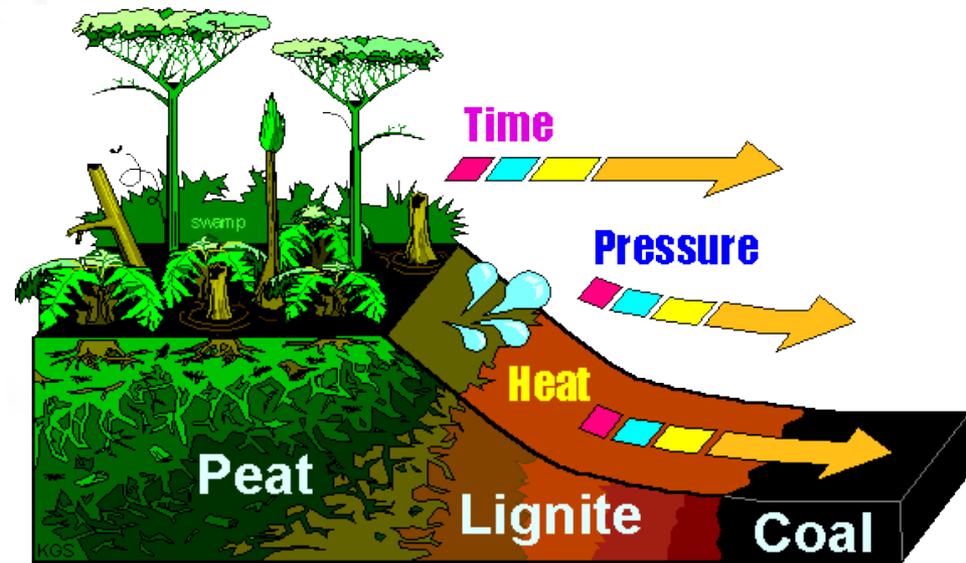
THE VEGETATION DIES AND
FORMS PEAT

THE PEAT IS COMPRESSED BETWEEN
SEDIMENT LAYERS TO FORM LIGNITE

FURTHER COMPRESSION
FORMS BITUMINOUS AND
SUBBITUMINOUS COAL

EVENTUALLY ANTHRACITE FORMS

Исходное вещество
Время
Давление
Температура



Время:

важный, но не определяющий фактор формирования угля из торфа.

Угли девонского возраста – Д,

Угли C_1 - C_2 Подмосковного бассейна –Б2

Угли C_2 - P_1 Кузнецкого бассейна –от Д до А

Угли J_2 Улугхемского бассейна – ГЖ-Ж

Угли J_2 Иркутского бассейна – БЗ-Г

Угли J_2 Канско-Ачинского бассейна – Б2-Г

Угли J_3 - K_1 Южно-Якутского бассейна – Ж-КЖ-К-СС

- **Исходное вещество** – в одних и тех же условиях могут формироваться разные марки угля в зависимости от исходного состава.
- **Давление и температура** взаимосвязаны. Определяют степень углефикации (угольный метаморфизм)

уплотнение

Торф из торфяника левобережья р. Березины у Бобруйска (Белорусская ССР), глубина 0,6 м	2,5—3,0
Торф из района Шауляя (Литовская ССР), глубина 1,0—1,2 м	3,6—4,2
Бурый уголь, Подмосковский бассейн, нижний карбон	9—12
Бурый уголь. Яйсанское месторождение (Предуралье), юра . . .	10—11
Бурый уголь Северо-Мартукское месторождение (Предуралье), юра	16
Каменный уголь ПЖ, Мало-Мабинское месторождение (Северный Кавказ), средний карбон	14—26
Каменный уголь Д — ПЖ, Донбасс, Кураховский район, средний карбон, свита C_2^5	18—20
Каменный уголь (антрацит), Донбасс, Несветаевский район, средний карбон, свита C_2^4	18—28

Вертикальное сокра-
щение слоя

На торфяной стадии (от слабо разложен-
ной массы до предельно уплотненного
зрелого торфа)

в 4—6 раз

На буроугольной стадии (от торфо-лиг-
нита до перехода в каменный уголь) . .

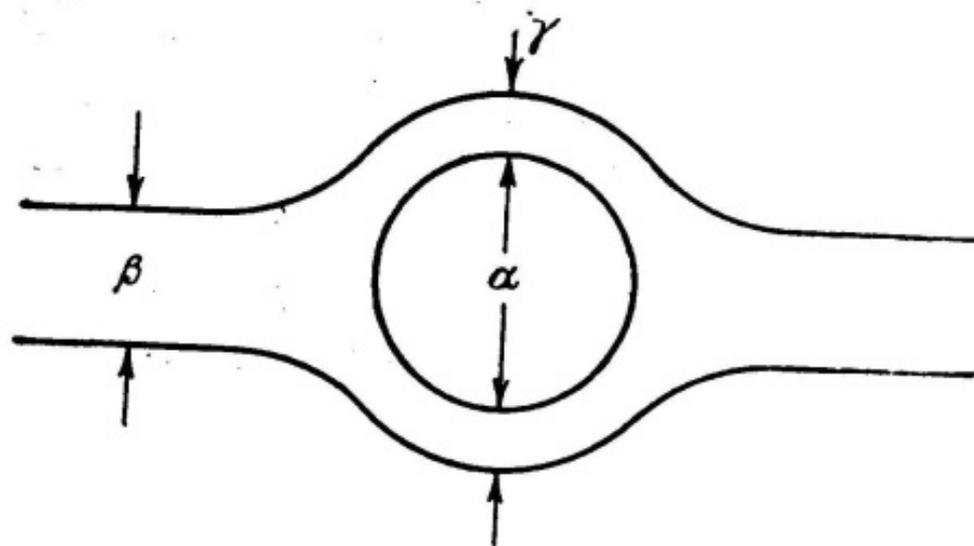
в 2—2,5 раза
(от начала процесса
уплотнения в 10—15)

На каменноугольной стадии —
до среднеметаморфизованных углей
до антрацита

в 1,5—1,7
в 2,5—3
(от начала процесса
в 28—40)

Как оценить сокращение мощности ?

Рис. 1. Сокращение мощности торфяной массы при переходе к бурым и каменным длинно-пламенным углям (по смоляным телам)



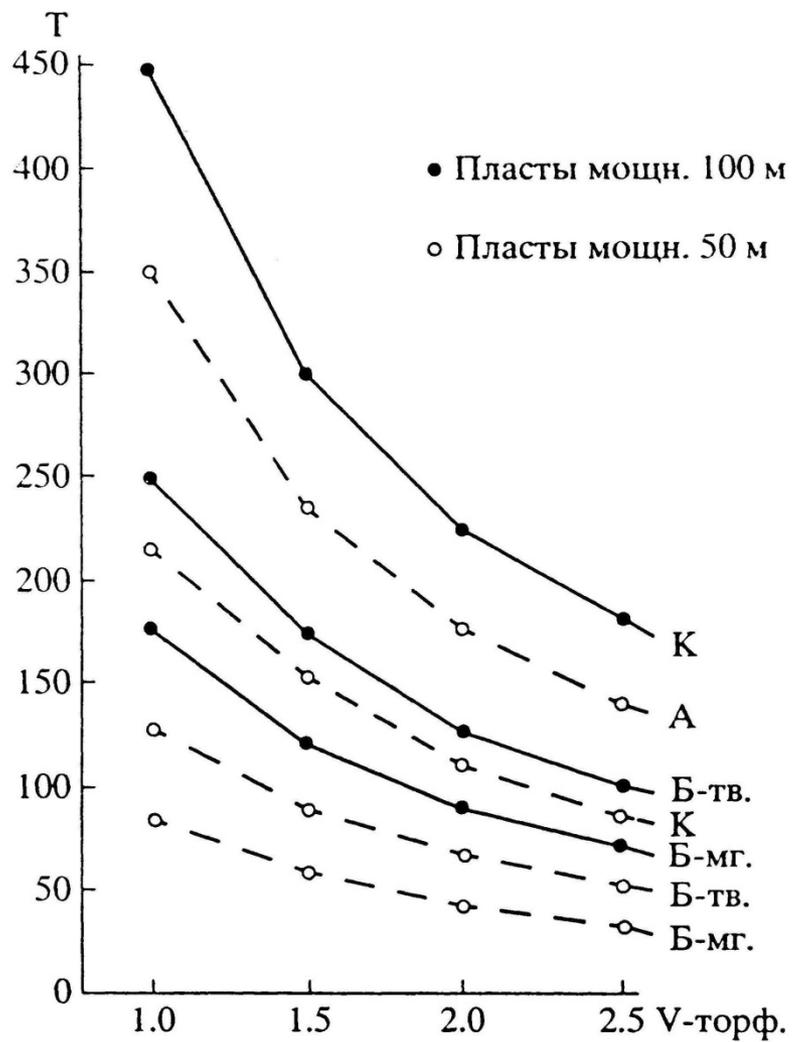


Рис. 5. Продолжительность накопления исходных торфяников, давших начало угольным пластам мощностью 50 и 100 м (средние оценки с учетом скорости накопления торфяника и степени сокращения мощности залежей в ряду углефикации).

Т – время, тыс. лет; V-торф. – средняя скорость нарастания мощности торфяника, мм/год. Ранги углей: Б-мг. – бурые мягкие; Б-тв. – бурые твердые; К – каменные; А – антрациты.

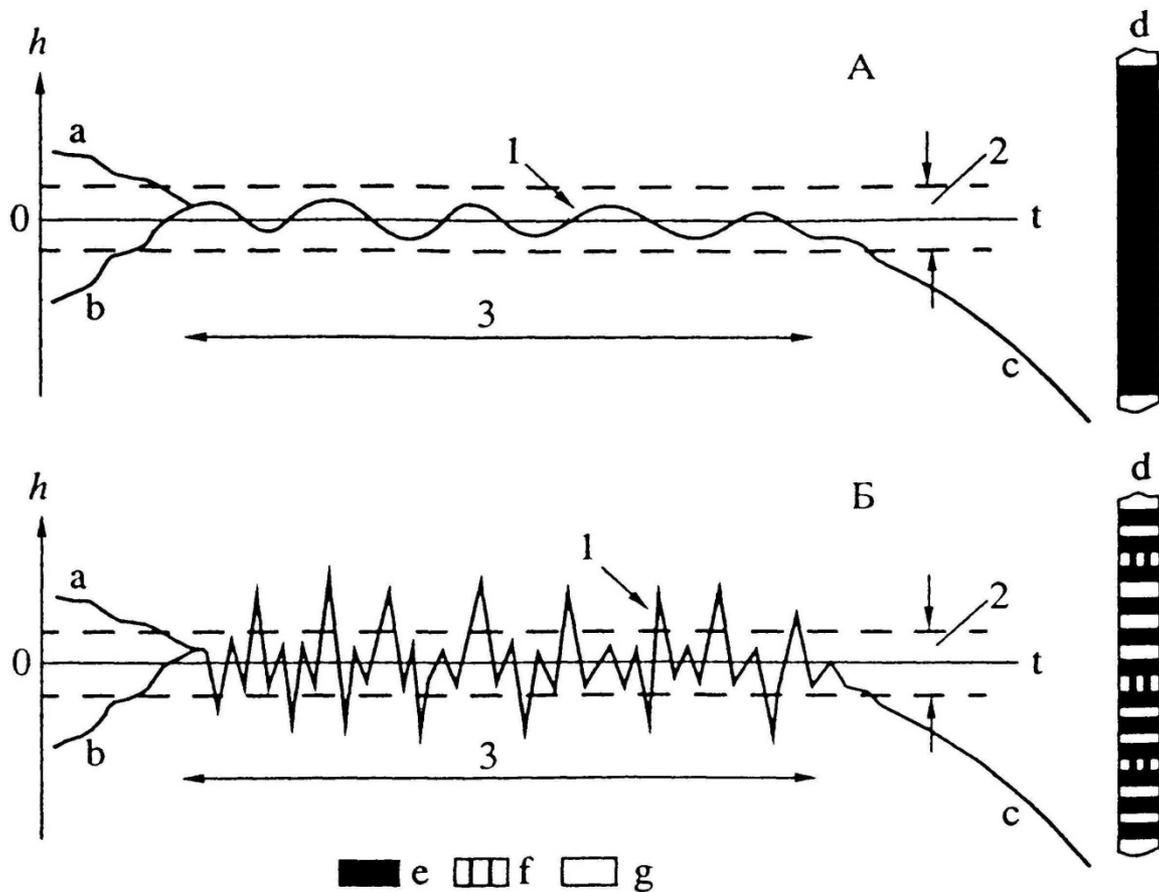


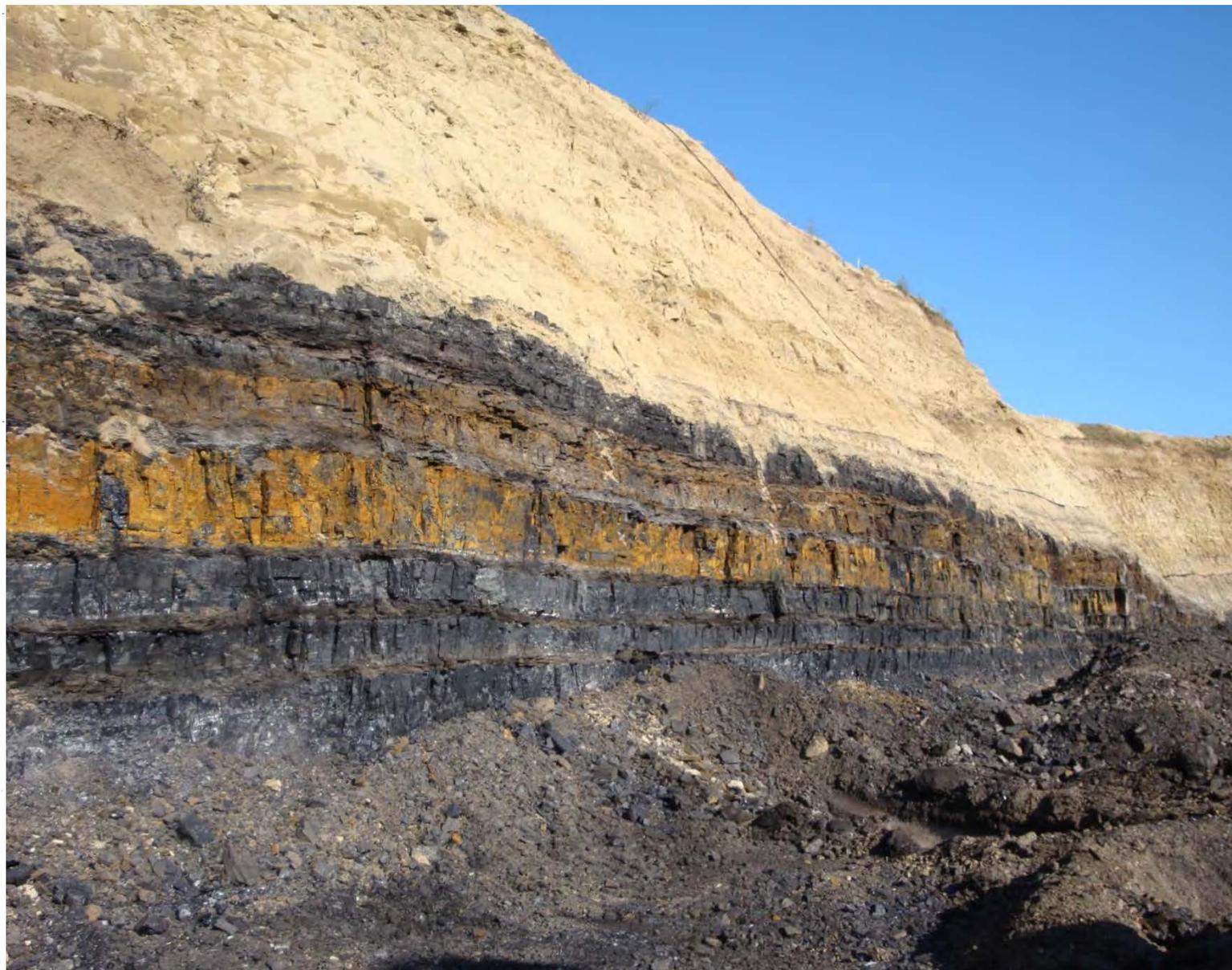
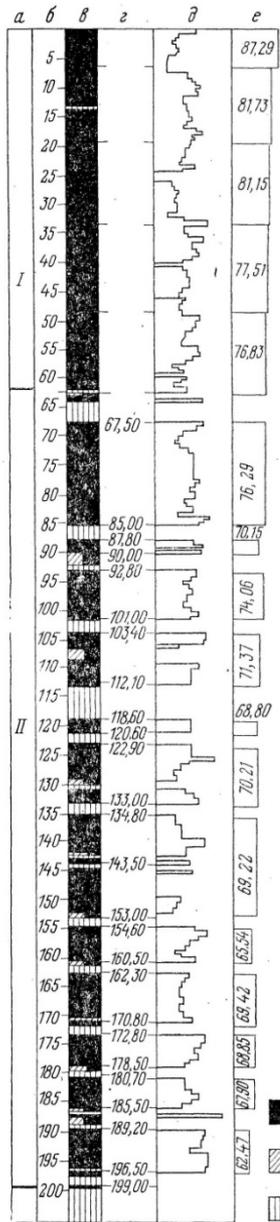
Рис. 4. Геоморфологические условия образования торфяного пласта во времени.

А, Б – режимы условий образования: А – однородный, Б – прерывистый.

1 – положение верхней поверхности торфяника; 2 – интервал изменения уровня вод; 3 – продолжительность формирования торфяника; h – глубина верхней поверхности осадков относительно уровня вод; а – опускание поверхности; б – обмеление бассейна; с – затопление торфяника; t – время; d – строение разреза будущего угольного пласта (е – уголь, f – углистый аргиллит, g – аргиллит).

Филиппи

Головинский разрез



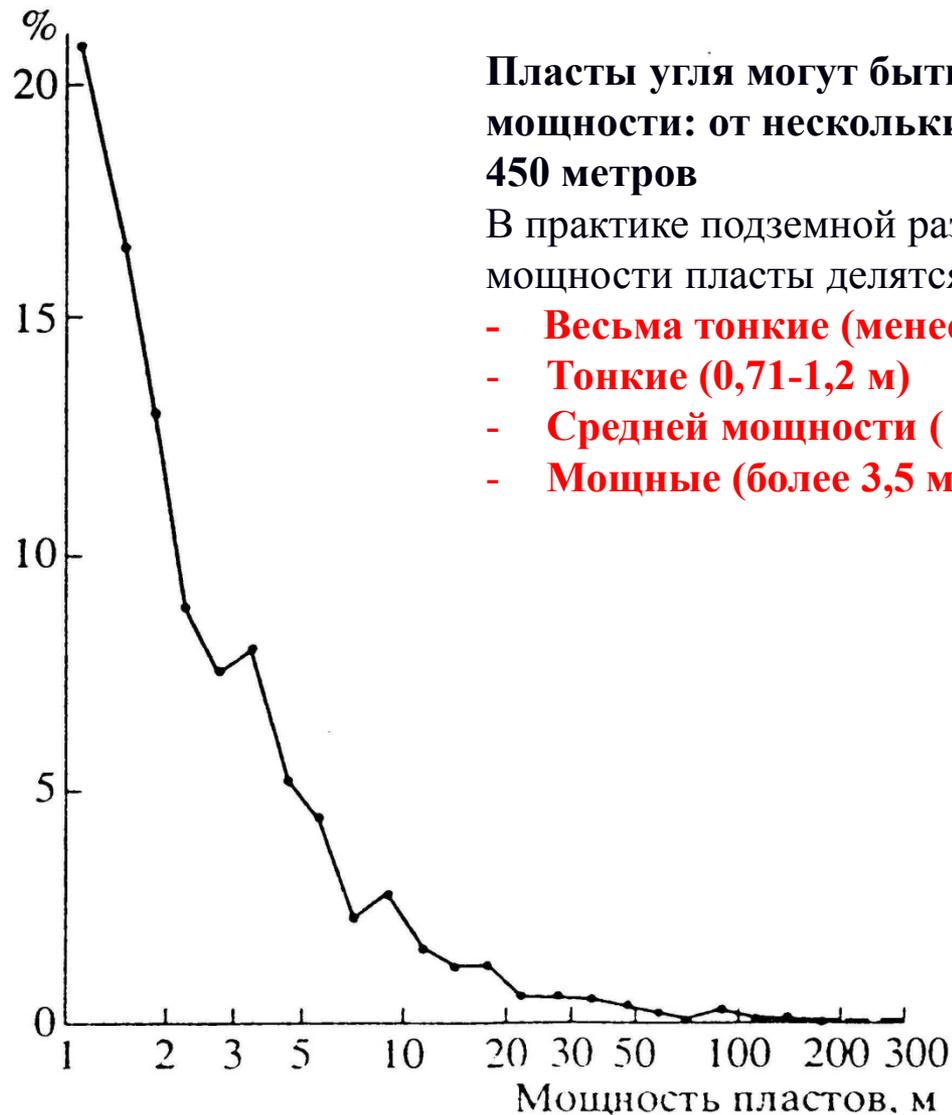


Рис. 1. Общий характер распределения угольных пластов по мощности: выборка из 2406 пластов по 210 месторождениям [Волков, 1985].

Характеристика пластов большой мощности ряда месторождений [Гаврилин, Озерский, 1996; Глои, 1980; Матвеев, 1979; Геология..., 1967, 1973]

Бассейн, месторождение, страна	Возраст	Максимальная мощность пласта, м	Преоблад. строение разреза	Ранг углей	Зольность A^d , %
Канско-Ачинский (Россия)					
Итатское	J ₂	80	простое	Б2	6–14
Барандатское	J ₂	95	простое	Б2	5–11
Березовское	J ₂	70	простое	Б2	4–8
Латроб-Велли (Австралия)					
Яллорн	P–N	97	простое	Б1	1.7
Моруэлл	P–N	165	простое	Б1	3.2
Лой-Янг	P–N	230–300	простое	Б1	1.4
Нижне-Рейнский (Германия)					
Кельнское	P–N	80–100	простое	Б1	5.6
Экибастуз (Казахстан)	C _{1v}	130–210 (уголь 95–110)	весьма сложное	Ж	35–45
Фушунь (Китай)					
угольный пласт	P	120–200	простое	БД-Д	2.5–3.7
пласт горюч. сланцев	P	70–180			
Хат-Крик (Канада)	P	450 (уголь 300)	сложное	Д	28
Челябинский (Россия)					
Коркинское	T ₃	200 (уголь 100)	весьма сложное	Б3	32
Куагнин (Quang Ninh) (Вьетнам)	T ₃	60 (уголь 30–40)	сложное	А	1.5–12
Южно-Уральский (Россия)					
Кривлевское	P–N	120	простое	Б1	21

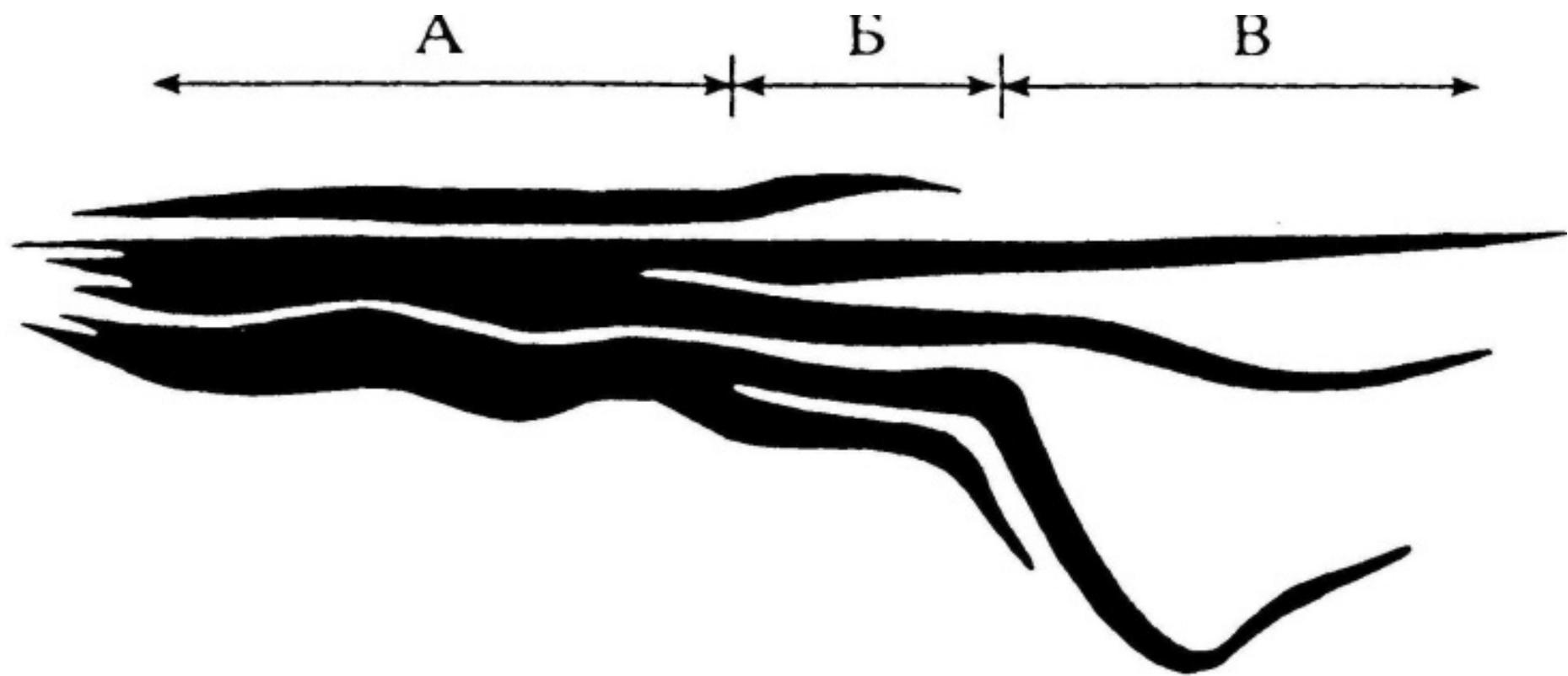


Рис. 2. Схема морфологического облика мощного угольного пласта.

Типы строения разреза: А – слитный (компактный),
Б – расслоенный (разобщенный), В – расщепленный.
Вертикальный и горизонтальный масштабы искажены.

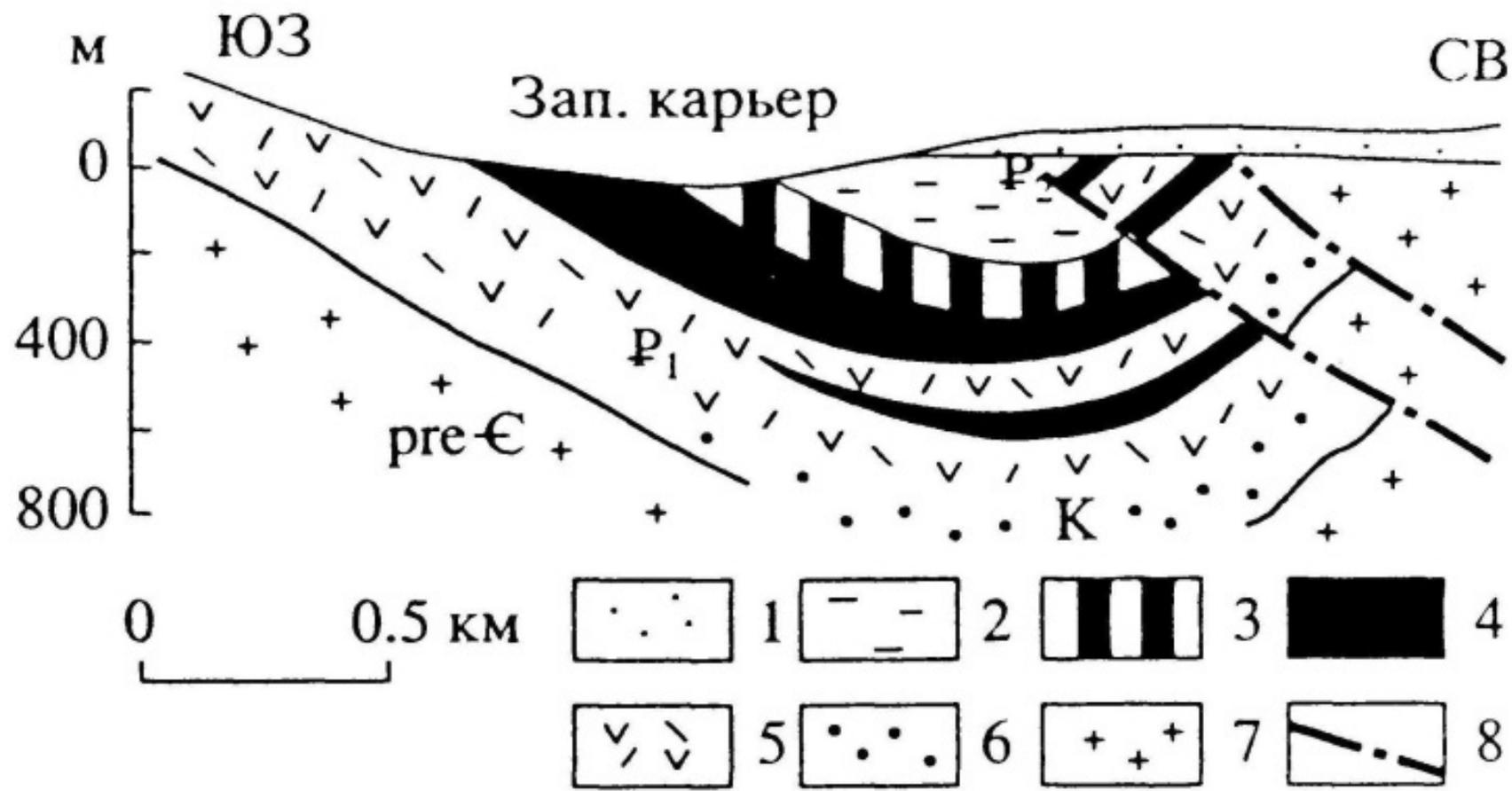


Рис. 3. Месторождение Фушунь, Китай [Матвеев, 1979].

1 – четвертичные отложения, 2 – угленосная толща олигоцена (аргиллиты и мергели), 3 – горючие сланцы, 4 – угли, 5 – туфы и базальты, 6 – меловые отложения, 7 – гранито-гнейсы, 8 – разломы.

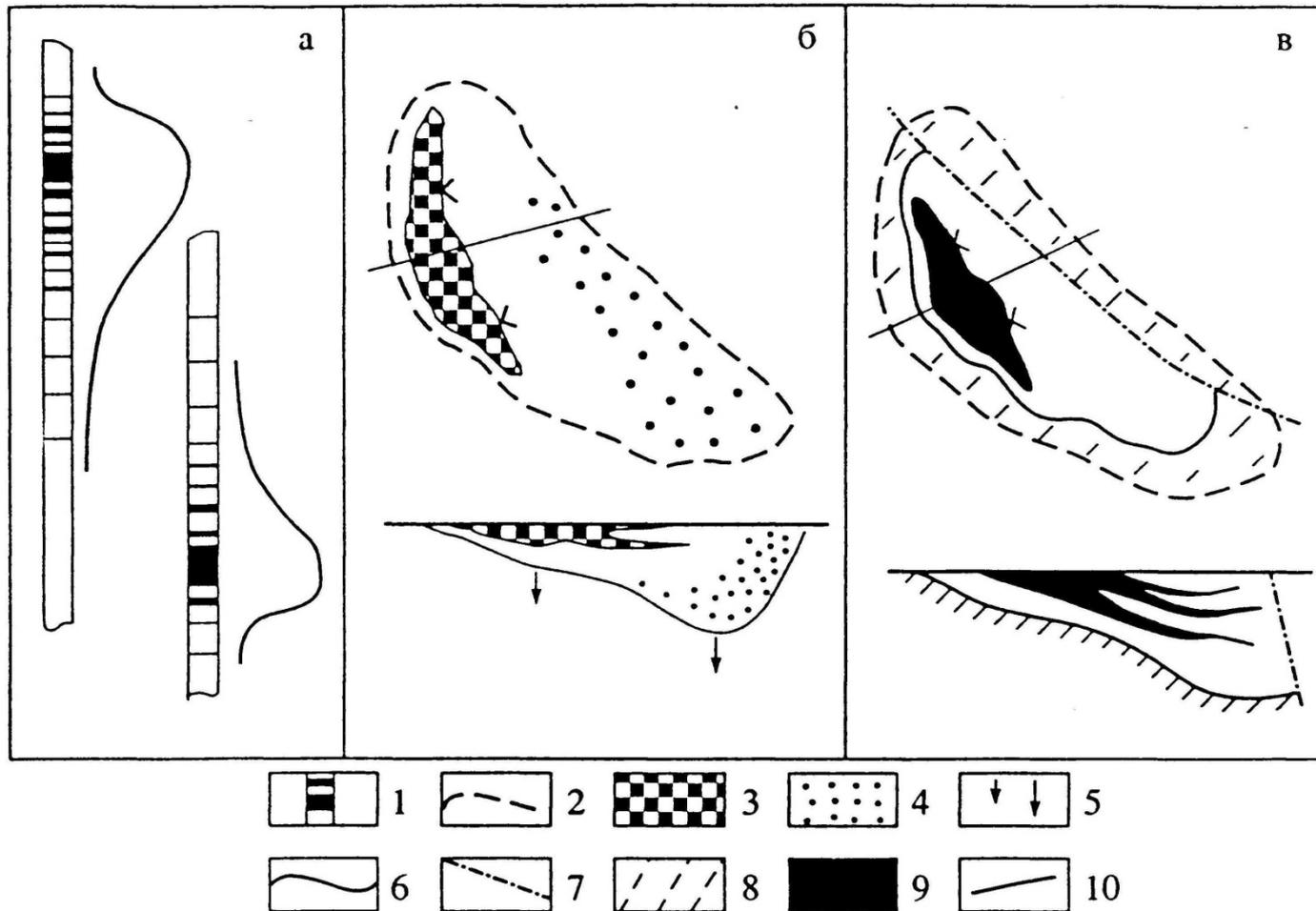


Рис. 7. Схема геологической позиции мощных угольных пластов применительно к месторождениям окраинных частей платформ и зон эпи платформенной активизации.

а – положение в разрезе (стратиграфический контроль); б – положение исходного торфяника в структуре прогиба (палеотектонический и палеогеографический контроль); в – современное положение в структуре месторождения.

1 – разрез угленосной толщи, 2 – контур прогиба, 3 – углеобразующий торфяник, 4 – зона выноса обломочного материала, 5 – относительные скорости погружения субстрата, 6 – современный контур месторождения, 7 – разлом, 8 – размытая часть угленосного комплекса, 9 – мощный угольный пласт, 10 – линия разреза.

Коэффициент угленосности выражается процентным отношением суммарной мощности всех или только рабочих пластов к общей мощности содержащей их угленосной формации (свит, горизонтов).

В первом случае он отражает углепроявления соответствующего стратиграфического подразделения, во втором – его промышленную продуктивность.

Угленплотность оценивается количеством запасов угля в угленосной формации (свите, горизонте), приходящимся на единицу площади ее общего распространения или в принятых границах геологопромышленной оценки.

Оба эти коэффициента используются для сравнительной характеристики угольных бассейнов и месторождений, а также для оценки прогнозных ресурсов на слабо изученных их частях и мало исследованных территориях.

Угленосный бассейн- обширная (тыс км²) площадь сплошного или непрерывного развития угленосных отложений с пластами (залежами) ископаемого угля. Для различных частей угленосного бассейна характерна общность геолого-исторического процесса накопления осадков в единой крупной тектонической структуре (прогиб, грабен, синеклиза и т.д.) в условиях гумидного климата (*Геол. словарь, 2012*).

Угольный бассейн – значительный по размерам участок земной коры, концентрация запасов угля в которых обеспечивает возможность долговременной крупномасштабной его добычи.

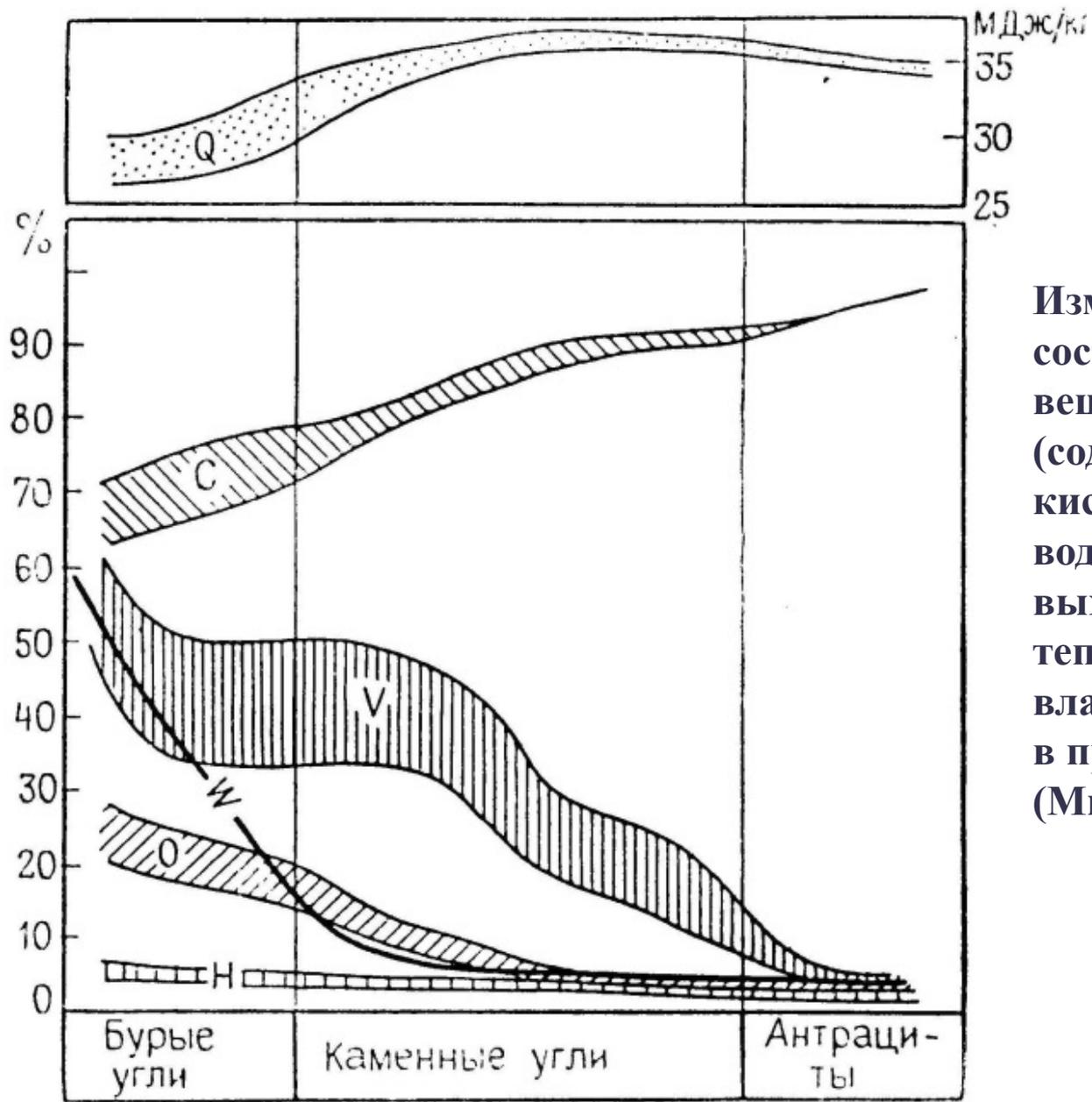
Состав органического топлива

Усредненный элементный состав твердого органического топлива

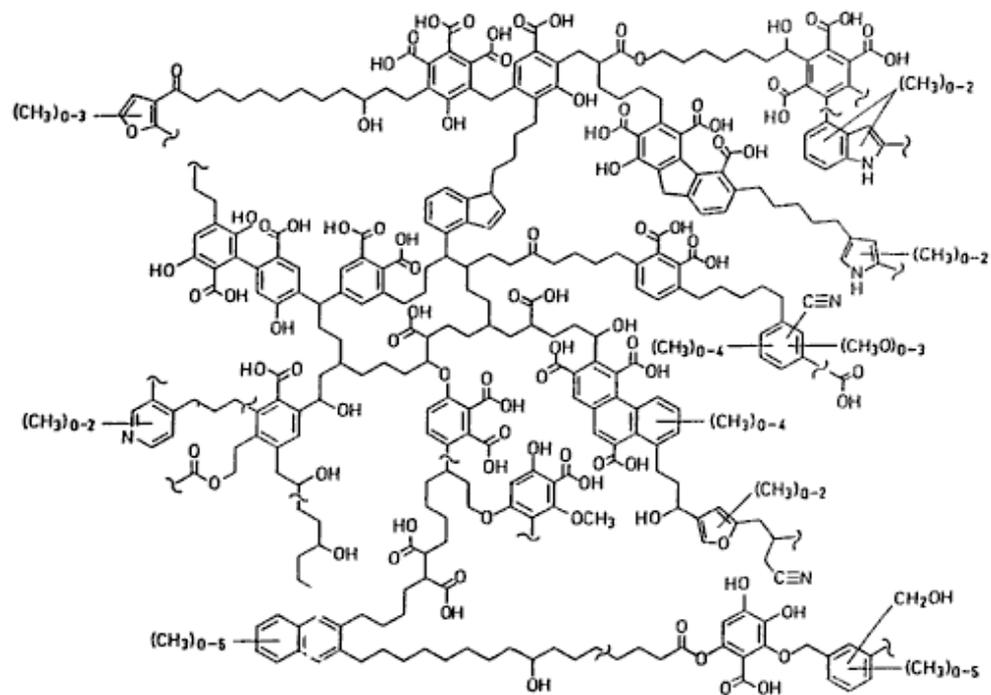
Элементы	Древесина	Торф	Бурый уголь	Каменный уголь	антрацит
C	49,7	50-60	63-77	74-92	89-98
O	43,2	31-40	16-28	2-16	До 1
H	6,2	4,5-6,5	4,0-6,3	3,7-5,9	2-3
N	0,9	0,8-2,9	0,7-1,4	1,0-2,5	До 1

Элементный состав нефти различных месторождений (в %)

Месторождение	Плотность, г/см ³	C	H	S	N	O	Зола
Ухтинское (РФ)	0,897	85,30	12,46	0,88	0,14	-	0,01
Грозненское (РФ)	0,850	85,95	13,00	0,14	0,07	0,74	0,10
Сураханское (Азрбайджан)	0,793	85,34	14,14	0,03	-	0,49	-
Калифорнийское (США)	0,912	84,00	12,70	0,40	1,70	1,20	-

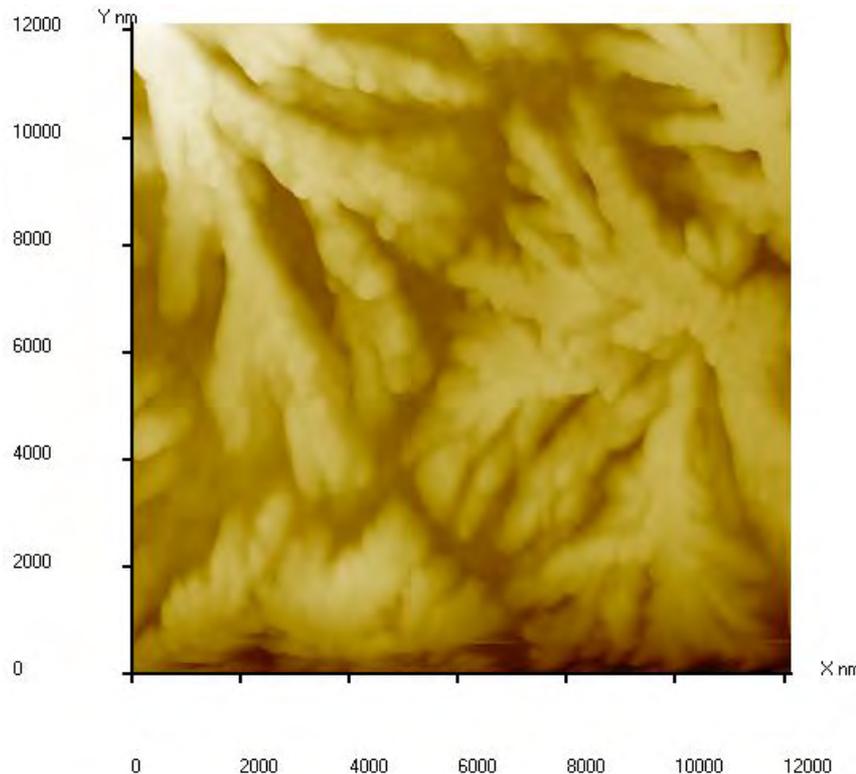


Изменение элементного состава органического вещества углей (содержание углерода С, кислорода О, водорода Н), выхода летучих веществ V, теплоты сгорания Q и влагосодержания W в процессе углефикации (Миронов К.В., 1982).



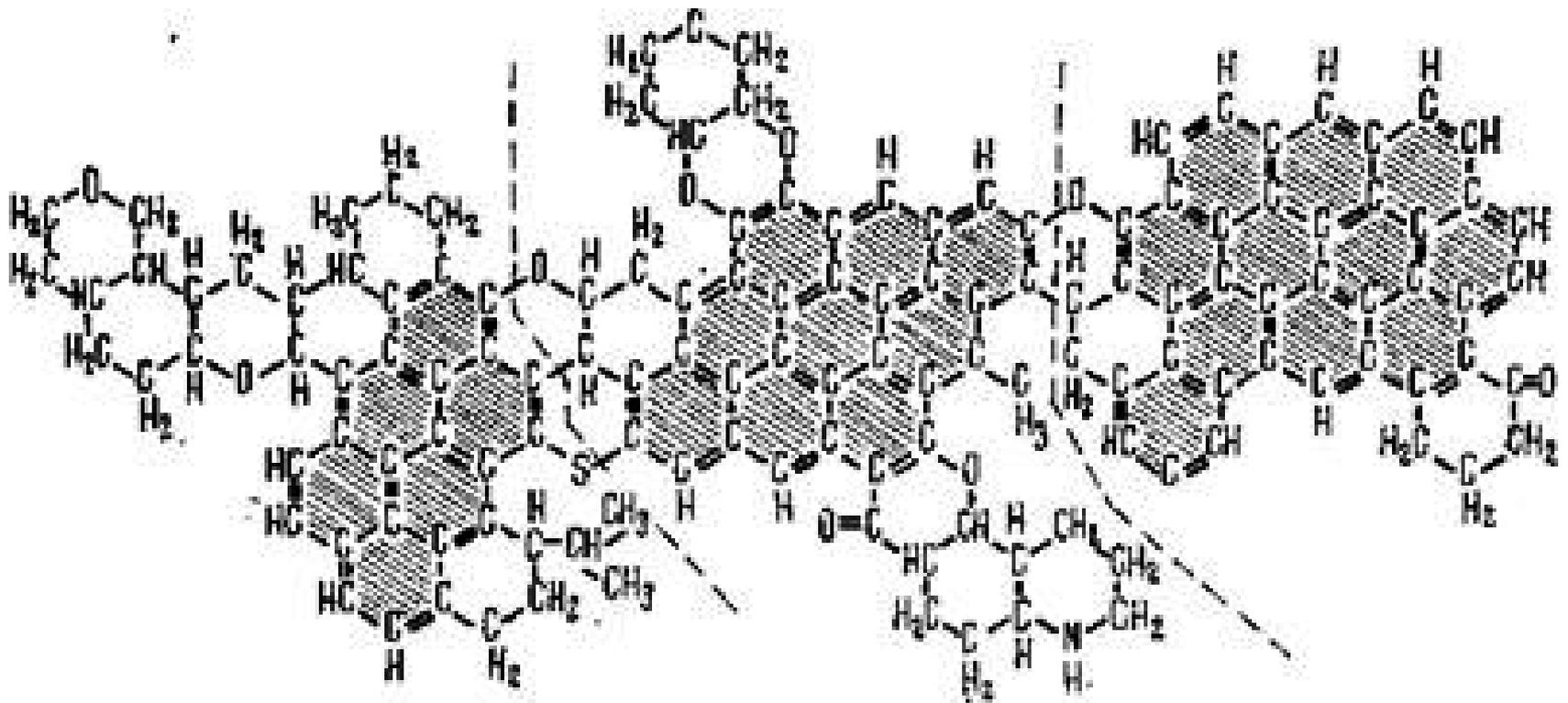
Гипотетическая структура элемента гуминовой кислоты. (По Schulten, Schnitzer)

Где граница бурого и каменного угля ?



Изображение образца гуминовой кислоты получено с помощью СЗМ NanoEducator.

Модель строения макромолекулы витрена малометаморфизованного каменного угля (по В. Фуксу — Д. ван-Кревелену)



Что происходит при окислении каменного угля?

Классификации углей

- Генетическая (геологическая) классификация основана на петрографическом составе и степени углефикации (метаморфизма).
- Промышленные классификации
- Промышленно-генетические классификации

Промышленно-потребительские свойства

СОСТОЯНИЕ УГЛЯ ОТРАЖАЕТСЯ ЗНАЧЕНИЯМИ СЛЕДУЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ:

- **рабочее** (индекс *r*) учитывает общую влагу и зольность добываемого, отгружаемого или используемого угля (рабочее топливо);
- **аналитическое** (индекс «*a*») характеризует состояние угля, подготовленного для лабораторного анализа (иногда употребляется индекс «*л*» – лабораторная проба);
- **сухое** (индекс *d*) – без общей влаги;
- **сухое беззольное** (индекс *daf*) – без общей влаги и золы (равнозначно термину горючая масса с индексом «*г*»);
- **влажное беззольное** (индекс *af*) – с общей влагой без золы;
- **органической массы угля** (индекс «*о*») – без влаги и минеральных примесей.

Классификация углей (параметры)

Рабочее состояние топлива (верхний индекс r) – состояние топлива с таким содержанием влаги и зольностью, с которыми оно добывается, отгружается или используется.

Аналитическое состояние топлива (верхний индекс a) – состояние топлива, характеризуемое подготовкой пробы, в которую включаются размол с крупностью зёрен менее 0,2 мм (или другими размерами, предписанными специальными методами анализа), и приведением её в равновесие с условиями лабораторного помещения.

Сухое состояние топлива (верхний индекс d) – состояние топлива без содержания общей влаги (кроме гидратной).

Сухое беззольное состояние топлива (верхний индекс d_{af}) – условное состояние топлива без содержания влаги и минеральной массы.

Влажное беззольное состояние топлива (верхний индекс af) – условное состояние топлива без содержания золы, но с влажностью (влагоёмкостью), соответствующе данному состоянию топлива.

В качестве основных классификационных параметров приняты:

Показатель	Символ	Обозначения показателя для состояния топлива				
		r	a	d	daf	o
Влага общая	W_t	W_t^r	-	-	-	-
Влага аналитической пробы	W^a	-	W^a	-	-	-
Минеральное вещество	M	M^r	M^a	M^d	-	-
Зола	A	A^r	A^a	A^d	-	-
Летучие вещества	V	V^r	V^a	V^d	V^{daf}	-
Высшая теплота сгорания	Q_s	Q_s^r	Q_s^a	Q_s^d	Q_s^{daf}	Q_s^o
Низшая теплота сгорания	Q_i	Q_i^r	Q_i^a	Q_i^d	Q_i^{daf}	Q_i^o
Толщина пластического слоя	Y	-	Y	-	-	-
Пластометрическая усадка	X	-	X	-	-	-
Сера общая	S_t	S_t^r	S_t^a	S_t^d	-	-
Показатель РОГА	RI	-	RI	-	-	-
Показатель свободного вспучивания	SI	-	SI	-	-	-
Показатель ГРЕЙ-КИНГА	GK	-	GK	-	-	-
Углерод общий	C_t	C_t^r	C_t^a	C_t^d	-	-
Углерод органический	C_o	C_o^r	C_o^a	C_o^d	C_o^{daf}	C_o^o
Углерод неорганический	C_M	C_M^r	C_M^a	C_M^d	-	-
Водород общий	H_t	H_t^r	H_t^a	H_t^d	-	-
Водород органический	H_o	H_o^r	H_o^a	H_o^d	H_o^{daf}	H_o^o
Водород неорганический	H_M	H_M^r	H_M^a	H_M^d	-	-
Азот	N	N^r	N^a	N^d	N^{daf}	N^o
Кислород (определённый)	O	O^r	O^a	O^d	O^{daf}	O^o
Кислород (по разности)	O_d	O_d^r	O_d^a	O_d^d	O_d^{daf}	O_d^o
Сера золы	S_A	S_A^r	S_A^a	S_A^d	-	-
Сера в коксе	S_k	S_k^r	S_k^a	S_k^d	-	-
Фосфор	P	P^r	P^a	P^d	-	-
Мышьяк	As	As^r	As^a	As^d	-	-
Хлор	Cl	Cl^r	Cl^a	Cl^d	-	-
Температура спекания	T_s	-	-	-	-	-
Температура начала деформации	T_A	-	-	-	-	-
Температура плавления	T_B	-	-	-	-	-
Температура жидкоплавкого состояния	T_C	-	-	-	-	-

**Номенклатура и методы определения основных
квалиметрических характеристик угля регламентируются
ГОСТами:**

- зольность A^d (ГОСТ 11022-95);
- влажность W (ГОСТ 27314-91; ГОСТ 11014-81);
- теплота сгорания Q (ГОСТ 147-95);
- плотность $d(\gamma)$ (ГОСТ 2160-92);
- выход летучих веществ V^{daf} (ГОСТ 6382-91);
- содержание серы (ГОСТ 8606-94);
- показатели спекаемости и коксуемости y , RJ и др. (ГОСТ 1186-87, ГОСТ 9318-91, ГОСТ 16126-90 и др.);
- обогатимость (ГОСТ 10100-84);
- петрографический, марочный и элементный состав (ГОСТ 9414-94, ГОСТ 25543-88, ГОСТ 6382-91, ГОСТ 6382-81);
- состав и свойства золы, содержание фосфора, редких элементов и др.

Для характеристики **метаноносности и водостойкости** определяется ***пористость, трещиноватость, сорбционность***, что позволяет оценить проницаемость и пустотные (емкостные) свойства угля. Квалиметрическими характеристиками являются также:

- ***сортность угля по размеру кусков*** (ГОСТ 19242-73), которая обусловлена природной блочностью в целике и кусковатостью отбитого угля,
- ***склонность к самовозгоранию, выбросо- и удароопасность*** угольных пластов.

Квалиметрический смысл содержат показатели геотехнологических и геомеханических свойств: ***абразивность, буримость, взрываемость, дробимость, сопротивляемость резанию и экскавации, а также прочностные, упругие и хрупкопластичные свойства.***

Эти показатели характеризуют промышленные свойства угля и особенности его использования в качестве сырья.

Зольность – важный показатель промышленного использования угля. Зола является балластом, замедляющим процесс горения и осложняющим технологию сжигания и обслуживания топок. Увеличенное количество золы за счет породы, минеральных агрегатов и зерен требует специальной обработки – обогащения угля.

Пластовая зольность отражает зольность угольных пачек и породных прослоев в пределах вынимаемой мощности пласта;

Эксплуатационная зольность характеризует зольность угольной массы, содержащей вмещающие породы, вовлеченные в добычу при эксплуатации угольного пласта.

Свойства золы во многом определяются ее составом при преобладании оксидов Al, Si, Fe, Ca, глинистого и другого материала. Глинистые компоненты затрудняют горение, а повышенное количество соединений Na и Ca приводит к увеличению **шлакования и коррозии** топок и котлов. Алюмосиликатный состав золы коксующихся углей требует дополнительного количества флюсового материала, в то же время оксиды Fe, Mg, Ca, улучшают качество металлургического кокса. Температура плавления, шлакуемость, абразивность золы определяют технологию использования угля и золы как дополнительного сырья. Температура плавления зависит от кремнистого модуля – соотношения количества SiO_2 и Al_2O_3 .

Влажность характеризуется относительным количеством воды, теряемой при разных видах высушивания до получения постоянной массы. В отличие от других показателей качества и свойств влажность зависит от условий опробования и методов определения. Повышенная влажность снижает теплотворную способность угля, осложняет технологию подготовки, переработки и обогащения, удорожает перевозку угля, так как вода является балластом. Внешняя и свободная вода на кусках обуславливает **слеживаемость** угольной массы в штабелях и бункерах, а также слипаемость угольной мелочи.

Рабочая влажность является классификационным критерием промышленной ценности бурых углей.

При характеристике промышленных свойств углей различают несколько видов влажности (W). **Свободная (поверхностная, избыточная) влага** стекает с внешней поверхности кусков и вызвана переувлажнением и недостаточным дренированием разрабатываемого пласта. **Влага внешняя (W_{ex})** теряется при воздушно-сухом состоянии угля. **Внутренняя влага (W_h)** остается в угле после высушивания в воздушно-сухих условиях (влага воздушно-сухого угля). **Общая влага** состоит из внешней и внутренней влаги: $W_t = W_{ex} + W_h$. Максимальная влагоемкость W_{max} характеризует влажность полностью водонасыщенного угля (без учета свободной, поверхностной влаги) и зависит от петрографического состава, пористости и метаморфизма угля. В каменных углях и антрацитах влажность W_{max} соответствует естественной влажности в массиве W^e и считается влажностью угля в рабочем состоянии. **Влажность аналитическая W^a (лабораторная)** определяется количеством влаги в анализируемой воздушно-сухой пробе.

Выход летучих веществ – это относительное количество газов и пара, образующихся при разложении угля от нагревания без доступа воздуха. Летучие представлены газами CO, CO₂, H₂, углеводородами, сернистым газом, паром и др. Количество и состав летучих веществ зависит от петрографического состава, степени углефикации и первичной восстановленности, от количества и состава минеральных примесей. Последние (особенно карбонаты, сульфиды) при термическом воздействии разлагаются и выделяют углекислоту, сернистый газ, пар и другие газообразные продукты, которые искажают газовые составляющие органической массы. Поэтому для классификации и сравнительного анализа испытанию подвергаются пробы с $A^d \leq 10 \%$.

Выход летучих V^{daf} , рассчитанный на горючую массу, является основным классификационным параметром ископаемых углей по маркам и используется для оценки степени метаморфизма. В бурых углях выход летучих составляет 67-40 %, в антрацитах – 1-2 %. Особенно детально дифференцируются каменные гумусовые угли с $V^{daf} = 35 \div 14 \%$. Для углей марки Б, Д, Г выход летучих во многом определяется составом угля, особенно содержанием лейптинита, а также степенью первичной восстановленности. Колебания составляют 5-10 %. Высокий выход летучих (60-75 %) характерен для сапропелевых углей, наименьший – для фюзенитовых разностей. Более восстановленные угли всех степеней метаморфизма отличаются повышенным выходом летучих.

В каменном угле при $V^{daf} = 46 \div 9 \%$ количество летучих рассчитывается в процентах относительно массы навески, при $V^{daf} = 9 \div 1,5 \%$ – по объему в кубических сантиметрах на грамм.

Свойства углей спекаться и образовывать кокс характеризуют важное качество угольного сырья для металлургического производства. Показатели спекаемости: индексы Рога ***RJ*** и свободного вспучивания ***SJ***; показатели пластометрических свойств: толщина пластического слоя ***y***, усадка высоты навески ***x***; показатель коксуемости – индекс Грей-Кинга (тип кокса) ***GK***.

Химико-физический процесс образования кокса при термической деструкции наиболее полно проявляется в углях средней степени метаморфизма (марки Ж-К) и углях витрен-кларенового состава. При увеличении фюзинитовых компонентов (отощающих Σ ОК) спекаемость угля снижается. Способность спекаться отрицательно сказывается при переработке угля путем полукоксования для получения горючих газов, синтетических продуктов – масел, эфиров, адсорбентов. Из бурых углей экстрагируют смолу, воск, битумы, гуминовую кислоту, которые применяют во многих отраслях промышленного производства. Наилучшие способности к полукоксованию имеют бурые и слабометаморфизованные угли.

Теплота сгорания является основным показателем теплотехнических свойств и классификационным критерием углей невысокой степени углефикации, которые служат главным энергетическим сырьем.

Теплота сгорания зависит от петрографического состава и особенно от степени метаморфизма, определяемой изменением содержания С и Н.

Например, донецкие угли характеризуются следующими значениями теплоты сгорания, ккал/кг:

Марка	Д	Г	Ж	К, ОС	Т	А
Q, ккал/кг	7600-8100	7900-8300	8300-8700	8400-8700	8300-8700	8100-8400

Теплота сгорания угля — важнейшая характеристика, используемая для сопоставления теплотехнических свойств углей различных месторождений, марок между собой и с другими видами топлива.

Определение теплоты сгорания производится замером количества тепла, выделяемого единицей массы угля при полном сгорании его в калориметрической бомбе в среде сжатого кислорода в установленных стандартом условиях.

Полученная при этом величина включает **тепло, выделяющееся за счет образования и растворения в воде азотной и серной кислот, а также испарения воды, выделившейся и образованной из угля во время сгорания.** Это тепло в практических условиях не используется. Соответствующими пересчетами величины теплоты сгорания, определенной по бомбе, получают значения высшей теплоты сгорания Q_s с исключением тепла, полученного за счет кислотообразования, и низшей теплоты сгорания Q_i , с дополнительным исключением тепла, полученного за счет испарения воды.

Элементный состав (содержание **C, H, O, N**) является обобщающей комплексной углехимической характеристикой угля как промышленного сырья, она отражает геолого-генетические условия углеобразования.

Количество **углерода** характеризует степень углефикации и изменяется от 55-60 % в бурых углях до 98 % в антрацитовых.

В ряде классификаций это положение используется при выделении стадий метаморфизма. При прочих равных условиях повышенное содержание углерода свойственно углям, в которых преобладают фюзенизированные компоненты.

Природный тип (класс) угля: гумусовый и сапропелевый – характеризуется разным содержанием **водорода**.

Повышенное количество **азота** свойственно липтобиолитовым разностям. Увеличение содержания азота повышает битуминозность углей. Отрицательное влияние на промышленную ценность угля оказывает **сера, мышьяк, хлор, фосфор**. Последний, например, в металлургическом коксе не должен превышать 0,012 %, в химическом угольном сырье 0,05 %.

Сернистость – отрицательная характеристика качества угля, так как сера – вредная примесь. Сера, представленная ***сульфидными, сульфатными и органическими соединениями***, при сжигании углей выделяется в виде газов SO_2 , SO_3 , H_2S и др. В результате загрязняется окружающая среда, корродируются топки. Нелетучие соединения серы при коксовании остаются в коксе и снижают его качество. При превышении нормы серы в коксе на 1 % производительность доменной печи снижается на 2 %. В то же время в слабометаморфизованных гелитолитовых углях Иркутского бассейна повышенное содержание серы приводит к повышению их спекаемости.

Сернистость энергетических углей в пересчете на массу с низшей теплотой сгорания (1000 ккал/кг) не должна превышать 1 %.

Содержание общей серы – основная характеристика сернистости угля и лимитируется в зависимости от промышленного использования угля. Для обеспечения высоких требований к сернистости осуществляется обессеривание углей физическим и химическим обогащением. Физическим путем удаляется 10-60 % сульфидной серы в зависимости от вида проявления соответствующей минерализации. Наиболее перспективны химические и бактериологические виды обогащения. Обессеривание – комплексная и трудноразрешимая проблема.

Для специальных сортов доменного кокса и для производства карбида кальция из антрацита определяется содержание **фосфора**, которое *не должно превышать 0,012 % в первом и 0,05 % во втором случае.*

Петрографическим составом предопределяются промышленно-потребительские качества и ценность углей, а также геотехнологические свойства, характеризующие сопротивление разрушению и добычанию (буримость, взрываемость и др.), и склонность углей к самовозгоранию и эндогенным пожарам.

Углетрографические данные, кроме того, необходимы для решения прикладных задач угольной геологии и выбора методики разведки угольных месторождений. Изучаемые показатели угля, являющегося петрографическим агрегатом, обусловлены вещественным составом и физико-химическими свойствами органических компонентов и минеральных примесей.

Органический материал представлен гелифицированными микрокомпонентами группы **витринита *Vt***, фюзенизированными – группы **фюзинита (инертинита) *F(J)***, липоидными – группы **липтинита *L***, которые отличаются по химическому составу и физическим свойствам (плотность, твердость и др.). Этим обусловлены разные геолого-промышленные свойства слагаемых ими углей.

Обогатимость. Добытая угольная масса (рядовой уголь) состоит из кусков угля и породы, а также сростков угля с породой. Для повышения качества рядового угля гравитационным, флотационным, электромагнитным и другими методами обогащения удастся удалить значительную часть минерального материала и повысить относительное количество органической массы.

В результате обогащения получают следующие продукты:

- **концентрат**, в котором содержание горючей массы выше, чем в исходной массе, поступившей на обогащение;
- **промежуточный продукт** – смесь всех составляющих угольной массы, получаемая из-за несовершенства обогащения, представляющая собой сростки угля с породой, не обогащаемые отсеvy мелких классов 0 - 6 мм, 0 - 13 мм, 0 25 мм;
- **отходы (хвосты) обогащения** с более высоким содержанием неорганического материала, чем в исходной массе;
- **шлам** – мелочь, остающаяся в воде обогатительной фабрики.

Критериями обогатимости являются следующие параметры:

- повышение промышленно-потребительских качеств (глубина обогащения);
- выход продуктов обогащения относительно исходной массы по фракциям;
- наибольший и наименьший размер частиц эффективного обогащения (предел обогащения);
- потери угля с отходами обогащения.

Показатель обогатимости T вычисляется по соотношению выхода продукта и породы

Марки угля

Марки угля	Буквенное обозначение марок	Выход летучих веществ V^r , %	содержание углерода C^r , %	Теплота сгорания $Q_{гб}$, ккал/кг
Бурые	Б	41 и более	<76	6900—7500
Длиннопламенные	Д	>39	76	7500—8000
Газовые	Г	36	83	7900—8600
Жирные	Ж	30	86	8300—8700
Коксовые	К	20	88	8400—8700
Отощённо-спекающиеся	ОС	15	89	8450—8780
Тощие	Т	12	90	7300—8750
Антрациты	А	менее 8	>91	8100—8750

в некоторых бассейнах выделяются промежуточные марки:

газовые жирные (ГЖ)

коксовые жирные (КЖ)

коксовые вторые (К2)

слабоспекающиеся (СС)

Угли подразделяются на технологические группы по спекающей способности; для указания технологической группы к буквенному обозначению марки прибавляется цифра, указывающая низшее значение толщины пластического слоя в данных углях, например Г6, Г17, КЖ14 и т.п.

Марочный состав углей

Бассейны	Марки угля
Кузбасс	Б2 - А
Канско-Ачинский	Б2 - Г
Иркутский	Б2 - Г
Минусинский	Д-Г
Улугхемский	ГЖ-Ж
Горловский	А
Тунгусский	Б-А
Ленский	Б - Ж
Таймырский	Б-А
Западно Сибирский	Б1 - Г

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Группа	Исходный материал	Класс, подкласс	Остатки растений, сохранившиеся в угле, и продукты их изменения	Среда отложения и накопления	Тип деятельности микроорганизмов	Количество кислорода	Процессы превращения	Фации
Гумолиты	Высшие растения (древесные, кустарничковые, травяные и др.)	Гелиолиты	Гелифицированные остатки растительных тканей: сохранившие структуру и бесструктурные; бесструктурное гелифицированное вещество	Низинное или верховое торфяное болото	Анаэробный, частично аэробный	Недостаточно	Гелификация, иллювиация, частичная битуминизация	Обводненных топяных болот (верховых и низинных)
		Фюзенолиты	Фюзенизированные остатки растительных тканей: сохранившие структуру и бесструктурные; бесструктурное фюзенизированное вещество		Аэробный, частично аэробный	Вероятно, избыточное	Фюзенизация и элювиация	Слабообводненных и проточных болот
		Микстогумолиты	Агрегат гелифицированных и фюзенизированных растительных тканей, липоидных компонентов и др.		Аэробный и анаэробный	Непостоянный режим, от избыточного до недостаточного	Переменная гелификация и фюзенизация	

Гумолиты	Высшие растения (древесные, кустарничковые, травяные и др.)	Липоидолиты	Кутикула, споры, смоляные тела, суберинизированные коровые ткани, гелифицированное и фюзенизированное вещество	Изолированные и проточные низинные болота	Преобладает аэробный, имеется анаэробный	Постоянный приток	Элювиация, гелификация и фюзенизация	Мелководные проточные болота
		Липтобиолиты	Кутикулы, суберинизированные коровые ткани, смола, споры, гелифицированное вещество	Проточное низинное болото	Аэробный	Постоянный приток	Элювиация и гелификация	Проточных болот
Сапрогумолиты	Высшие и низшие растения	Сапрогумитолиты	Остатки водорослей в гумусовой или смешанной основной массе, остатки растительных тканей, споры, кутикулы	Низинное застойное торфяное болото с открытым водным зеркалом (озеро, лагуна)	Анаэробный	Мало	Битуминизация и гелификация	Болот, переходящих в водоемы, и застойных открытых водоемов (озеро, зарастающее озеро, залив, морская лагуна)
		Гумитосапропелиты						
Сапропелиты	Низшие водоросли и др.)	Собственно сапропелиты	Преимущественно продукты превращения водорослей	Озеро (открытый водоем в болоте) пресное или соленое, лагуна	То же	То же	В основном битуминизация	

**УСРЕДНЕННЫЙ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ УГЛЕЙ ОСНОВНЫХ УГОЛЬНЫХ
БАССЕЙНОВ СССР [1]**

Бассейны	Содержание (%) компонентов групп				Наиболее распространенные литотипы угля
	<i>Vt</i>	<i>Sv</i>	<i>L</i>	<i>I</i>	
Донецкий: нижнекарбоновые угли	45—55	5—7	18—25	22—24	Кларено-дюрены и дюрено-кларены
среднекарбоновые угли	70—95	3—6	1—14	5—14	Кларены
Печорский	64—85	5—20	1—5	10—20	Дюрено-кларены и кларено-дюрены
Карагандинский: нижнекарбоновые угли	59—61	10—15	1—4	25	Кларено-дюрены
среднекарбоновые угли	72—74	7—9	4—8	13	Дюрено-кларены
Кузнецкий: угли балахонской серии	40—61	14—17	2	26—39	Кларено-дюрены и дюрены
кольчугинской се- рии	73—80	4—8	2	14—17	Кларены и дюрено- кларены
Канско-Ачинский	58—97	1—12	1—5	1—25	Кларены
Южно-Якутский	75—90	1—3	2—5	5—15	То же
о. Сахалина	85—95	1—2	3—10	1,5	»

ТАБЛИЦА 7

**КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОКИСЛЕННЫХ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ ПО СТАДИЯМ
МЕТАМОРФИЗМА (ГОСТ 21489—75)**

Группа	Стадии метамор- физма	Показатель отражения витринита		
		в иммерсионном масле, R_0 , %	в воздушной среде, $10 R$, усл. ед.	Класс
Буроугольная	0_1	0,30	<58	01
	0_2	0,30—0,39	58—66	02
	0_3	0,40—0,49	67—69	03
Каменноугольная	I	0,50—0,64	70—76	10
	I—II	0,65—0,74	77—79	11
	II	0,75—0,84	80—82	12
	II—III	0,85—0,99	83—86	13
	III	1,00—1,14	87—90	14
	III—IV	1,15—1,29	91—93	15
	IV	1,30—1,49	94—97	16
	IV—V	1,50—1,74	98—102	17
	V	1,75—1,99	103—107	18
	VI	2,00—2,39	108—114	19
Антрацитовая	VII—VIII	2,40—2,99	115—123	21
	VIII—IX	3,00—3,59	124—131	22
	IX	3,60—4,49	132—142	23
	X	4,50 и более	143 и более	24

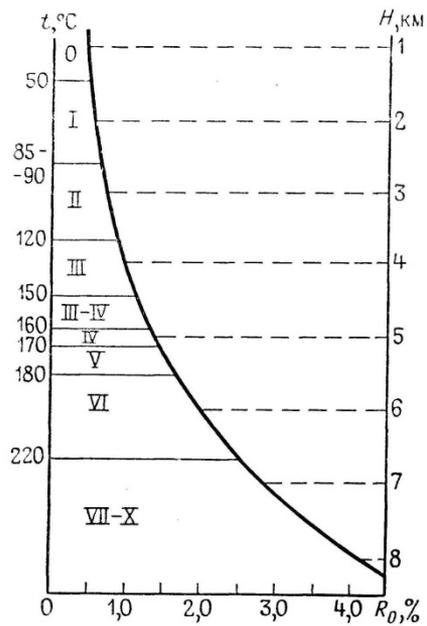


Рис. 6. Связь регионального метаморфизма углей с глубиной их погружения, I, II...VII-X — стадии метаморфизма угля по ГОСТ 21489—76

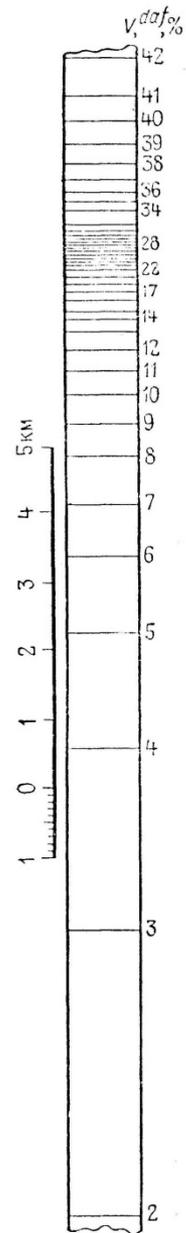
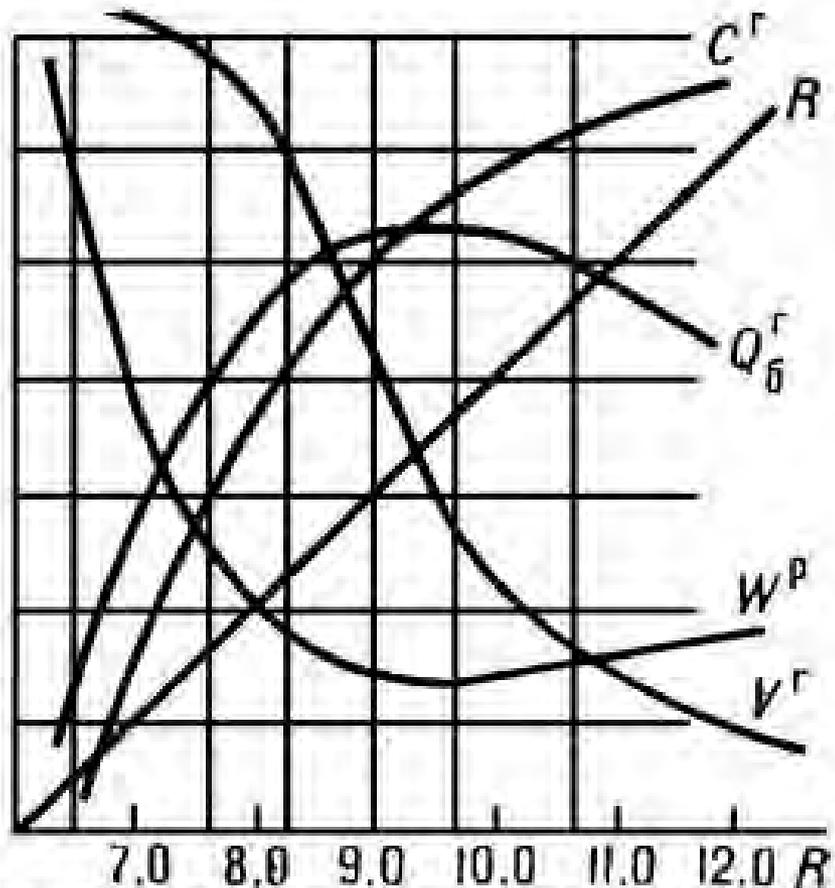
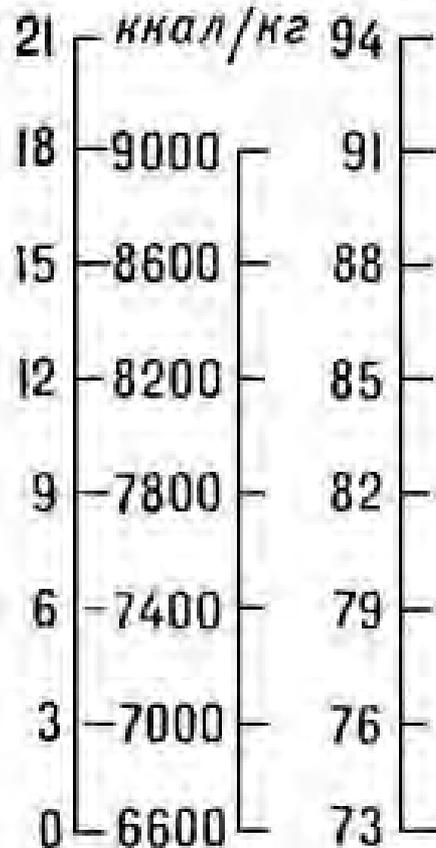


Рис. 7. Ступени глубинного метаморфизма угля (по В. И. Скоку)

$W^p, \%$ $Q_b^r, \text{ккал/кг}$ $C^r, \%$ $V^r, \%$



Марки углей	БЗ	Д	Г	Ж	К	ОС	Т
Стадии метаморфизма	0з	I	II	III	IV	V	VI

Изменение рабочей влажности (W^p), теплоты сгорания (Q_b^r), содержания углерода (C^r), выхода летучих веществ (V^r) и отражательной способности витринита (R) с повышением степени углефикации углей (по И. В. Ерёмину, Э. М. Паху).

ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПЕРЕСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УГЛЯ

Состояние угля, символ	Пересчет на состояние угля				
	рабочее, r	аналитическое, a	сухое, d	сухое беззольное, daf	органическая масса, o
Рабочее, r	—	$\frac{100 - W^a}{100 - W_t^r}$	$\frac{100}{100 - W_t^r}$	$\frac{100}{100 - (W_t^r + A^r)}$	$\frac{100}{100 - (W_t^r + M^r)}$
Аналитическое, a	$\frac{100 - W_t^r}{100 - W^a}$	—	$\frac{100}{100 - W^a}$	$\frac{100}{100 - (W^a + A^a)}$	$\frac{100}{100 - (W^a + M^a)}$
Сухое, d	$\frac{100 - W_t^r}{100}$	$\frac{100 - W^a}{100}$	—	$\frac{100}{100 - A^d}$	$\frac{100}{100 - M^d}$
Сухое беззольное, daf	$\frac{100 - (W_t^r + A^r)}{100}$	$\frac{100 - (W^a + A^a)}{100}$	$\frac{100 - A^d}{100}$	—	$\frac{100 - A^d}{100 - M^d}$
Органическая масса, o	$\frac{100 - (W_t^r + M^r)}{100}$	$\frac{100 - (W^a + M^a)}{100}$	$\frac{100 - M^d}{100}$	$\frac{100 - M^d}{100 - A^d}$	—

КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ ПО РАЗМЕРУ КУСКОВ
(ГОСТ 19242—73)

Классы	Условное обозначение	Пределы крупности кусков, мм	
		нижний	верхний
С ор т о в ы е			
Плитный	П	100 (80)	200; 300
Крупный	К	50 (40)	100 (80)
Орех	О	25 (20)	50 (40)
Мелкий	М	13 (10)	25 (20)
Семечко	С	6 (5; 8)	33 (10)
Штыб	Ш	0	6 (5; 8)
С о в м е щ е н н ы е и о т с е в ы			
Крупный с плитным	ПК	50 (40)	200; 300
Орех с крупным	КО	25 (20)	100 (80)
Мелкий с орехом	ОМ	13 (10)	50 (40)
Семечко с мелким	МС	6 (5; 8)	25 (20)
Семечко со штыбом	СШ	0	13 (10)
Мелкий с семечком и штыбом	МСШ	0	25 (20)
Орех с мелким се- мечком и штыбом	ОМСШ	0	50 (40)
Рядовой	Р	0	200; 300

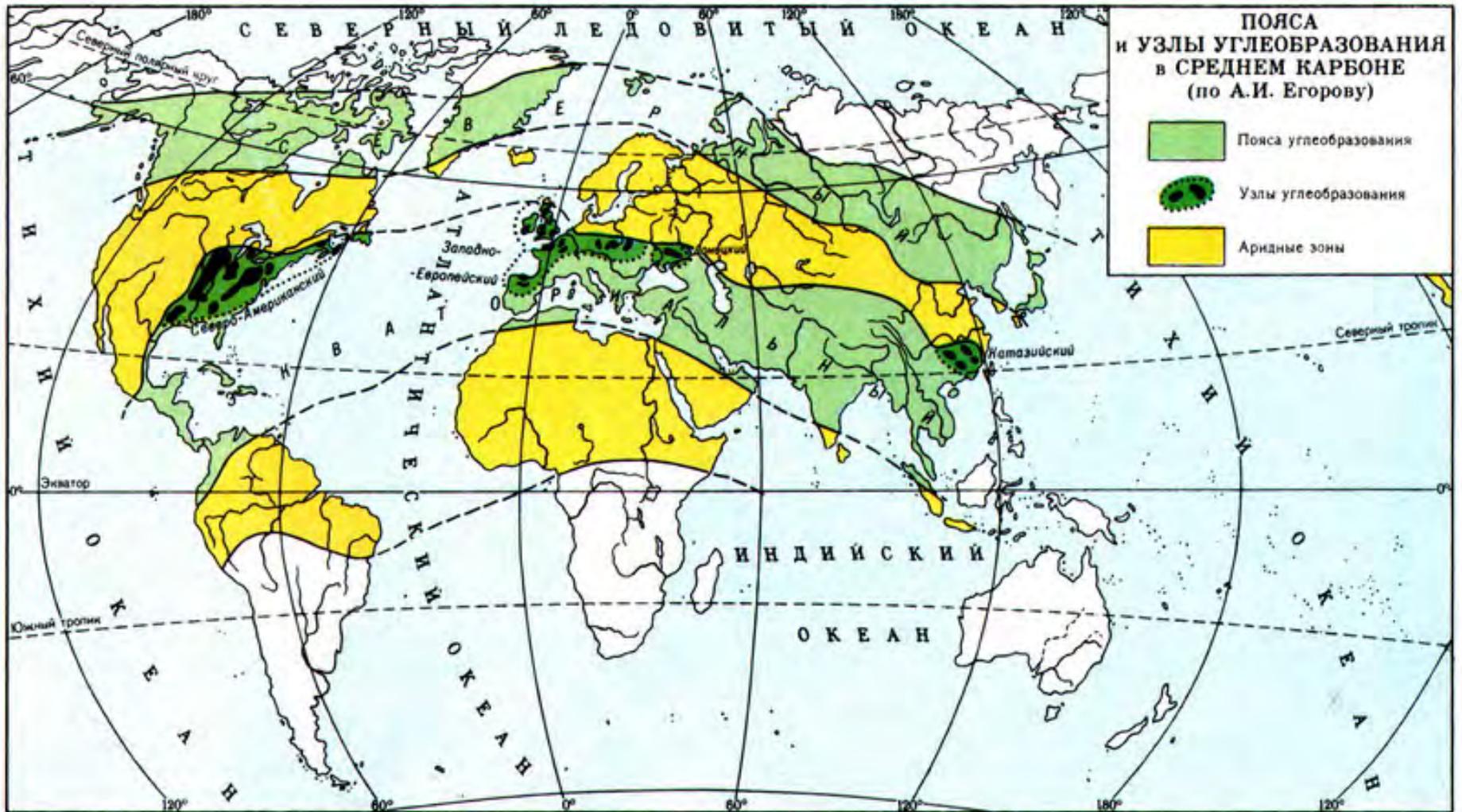
ПОЯС УГЛЕОБРАЗОВАНИЯ (Степанов, 1937) — зона на земной поверхности, в которой в определенный геологический период обильно накапливались угленосные отложения и угольная масса.

Степанов установил, что углеобразование связано с определенными этапами развития Земли и подчинено некоторым закономерностям пространственного размещения на земном шаре. Это положение послужило основой для теоретической разработки прогноза угленосности в выделенных поясах.

Егоров (1960) значительно уточнил первоначальные представления Степанова и выделил в каждой эпохе углеобразования 3 пояса: северный, экваториальный и южный.

По Страхову, Пояса углеобразования — это древние зоны гумидного климата, в которых только и возможно было углеобразование.

Пояса углеобразования: девонский; три карбоновых (турнейско-визейский, намюрский, вестфальско-стефанский); пермский; триасовый; юрский; меловой; палеогеновый; неогеновый.



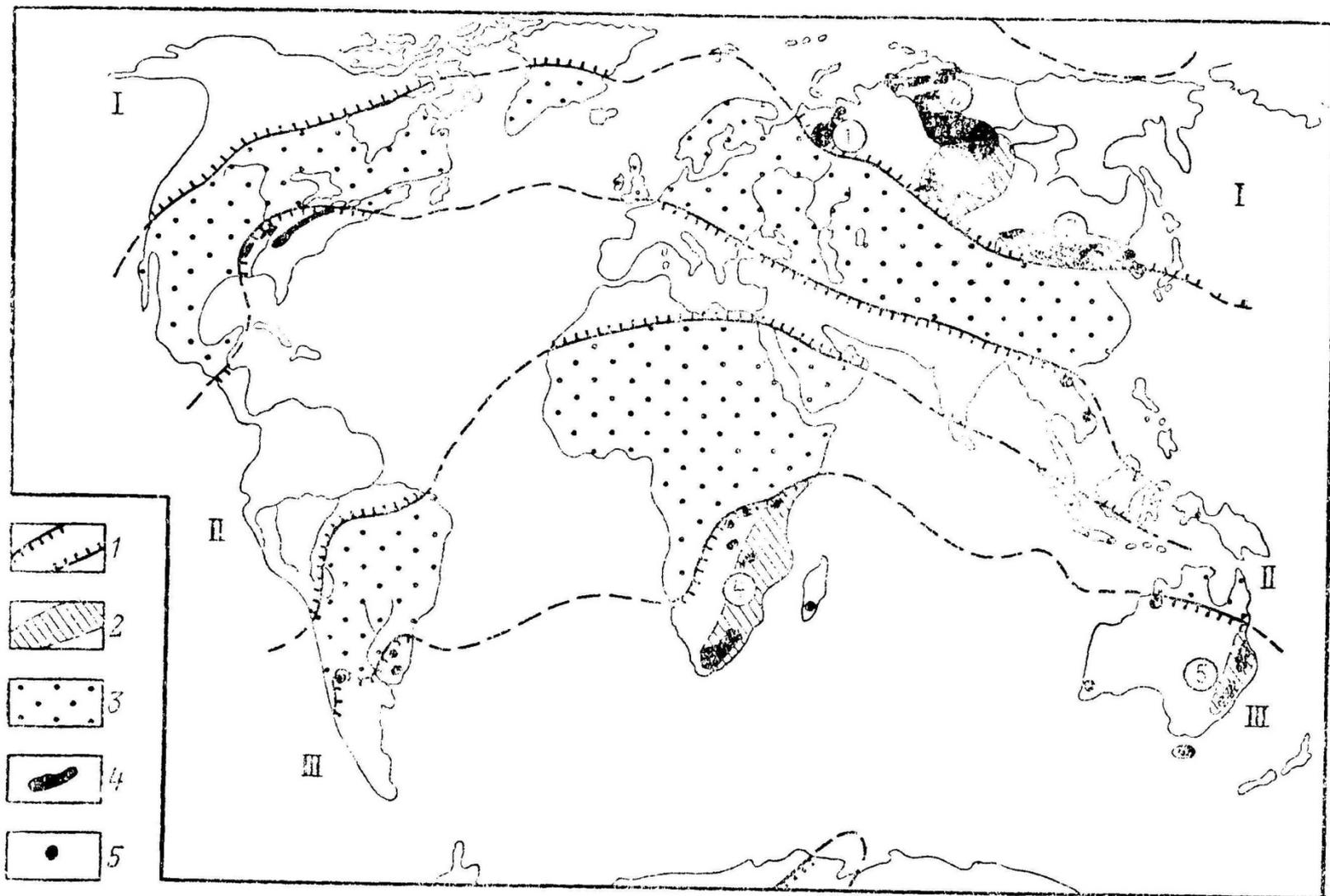
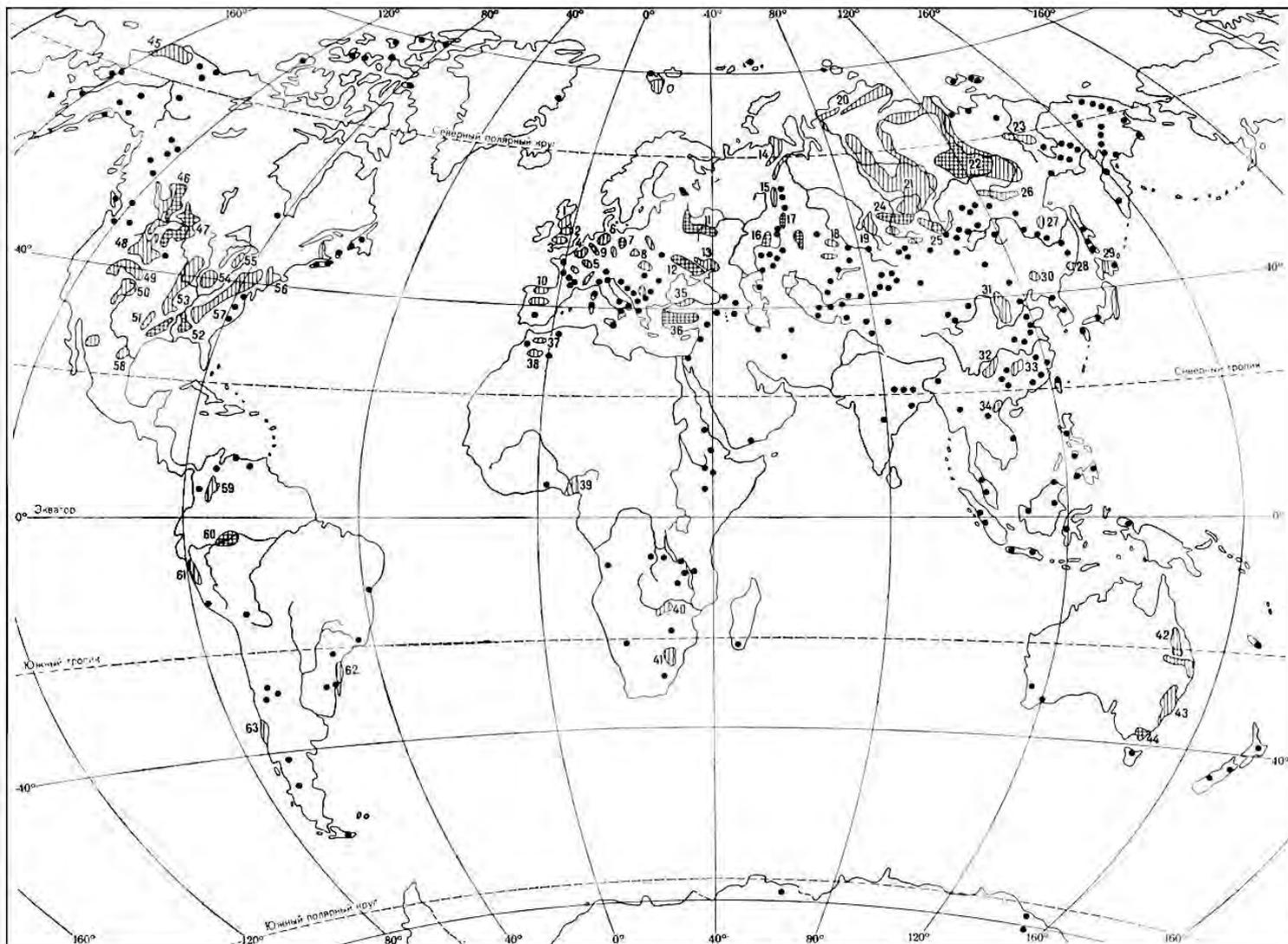


Рис. 8. Нижнепермские пояса углеобразования [7]:

1 — пояса углеобразования: I — Северный, II — Экваториальный, III — Южный; 2 — узлы углеобразования (цифры в кружках): 1 — Печорский, 2 — Тунгусский, 3 — Катазийский, 4 — Южноафриканский; 3 — аридные зоны; 4 — угольные бассейны; 5 — месторождения

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧТЕННЫХ МИРОВЫХ ЗАПАСОВ И РЕСУРСОВ УГЛЯ
ПО ВОЗРАСТУ УГЛЕОБРАЗОВАНИЯ В % ОТ ОБЩИХ [9]**

Геологические периоды	Разведанные запасы	Общие ресурсы	Геологические периоды	Разведанные запасы	Общие ресурсы
Карбон	41,3	20,5	Юра	8,1	16,3
Пермь	9,3	26,8	Мел	16,8	20,5
Триас	0,3	0,1	Палеоген и неоген	23,6	15,8



ГЛАВНЫЕ УГОЛЬНЫЕ БАСЕЙНЫ и МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1500 0 1500 3000 4500 км

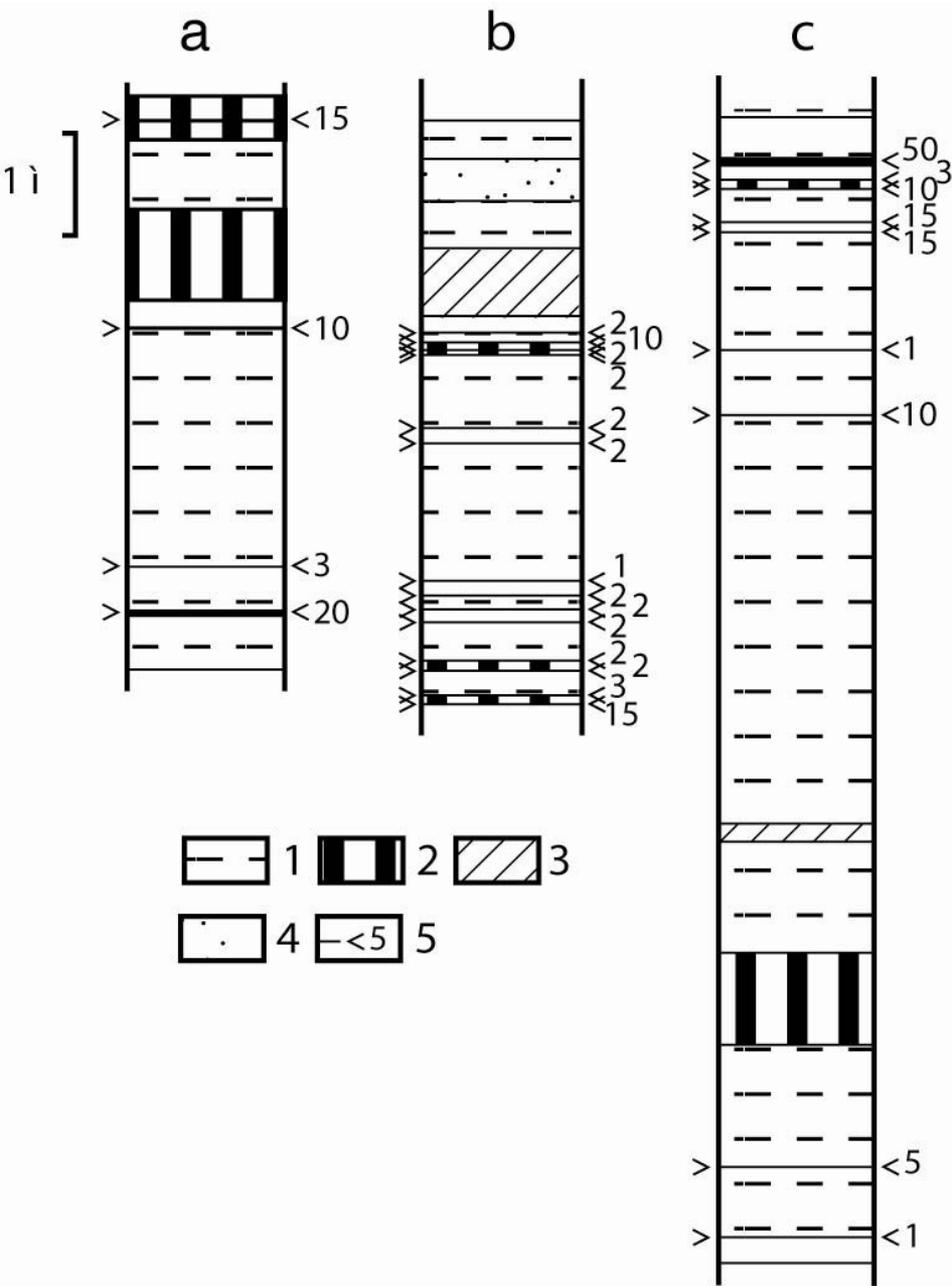
 Каменноугольные бассейны
  Буроугольные бассейны
  Месторождения

БАСЕЙНЫ. Евразия: 1 – бассейны Шотландии, 2 – Йоркшир-Ноттингемшир, 3 – Южный Уэльс, 4 – Валансьенн-Льеж, 5 – Саарско-Лотарингский, 6 – Рурский, 7 – Тюринго-Саксонский, 8 – Верхнесилезский – Остравско-Карвинский, 9 – Нижнерейнский, 10 – Астурийский, 11 – Подмосковский, 12 – Днепровский, 13 – Донецкий, 14 – Печорский, 15 – Кизеловский, 16 – Южно-Уральский; 17 – Челябинский, 18 – Карагандинский, 19 – Кузнецкий, 20 – Таймырский, 21 – Тунгусский, 22 – Пенский, 23 – Зырянский, 24 – Канско-Ачинский, 25 – Иркутский, 26 – Южно-Якутский, 27 – Бурейский, 28 – Партизанский, 29 – Исикари, 30 – Фушуньский, 31 – Большой Хуанхэбасс, 32 – Тяньсиньский, 33 – Ганьцзянский, 34 – Куангйен, 35 – Зонгулдакский, 36 – Анатолийский;

Африка: 37 – Джерада, 38 – Абадла, 39 – Знугу, 40 – Уанки, 41 – Витбанк;
 Австралия: 42 – Большая Синклиналь, 43 – Новый Южный Уэльс, 44 – Латроб-Валли;
 Сев. Америка: 45 – Лисберн-Колвилл, 46 – Альберта, 47 – Форт-Юнион, 48 – Грин-Ривер, 49 – Юинта, 50 – Сан-Хуан-Ривер, 51 – Техасский, 52 – Миссисипский, 53 – Западный, 54 – Иллинойский, 55 – Мичиганский, 56 – Пенсильванский, 57 – Аппалачский, 58 – Сабинас;
 Юж. Америка: 59 – Караре, 60 – Верхнеамазонский, 61 – Хуни, 62 – Санта-Катарина, 63 – Консепсьон.

СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ АЗИИ





Распределение тонштейнов в угольных пластах Черногорского месторождения Минусинского бассейна (по Л.А. Адмакину, 1992):

а - пласт «Великан», б - «Мощный», с - «Гигант»;

1 - уголь, 2 - углистый аргиллит, 3 - аргиллит, 4 - песчаник, 5 - прослои тонштейнов (цифры - мощность, мм).

Условия углеобразования

- 1. Климат**
- 2. Тектонические условия**
- 3. Фациальные условия**
- 4. Вулканизм**

Тонштейны в угольном пласте ХХХ



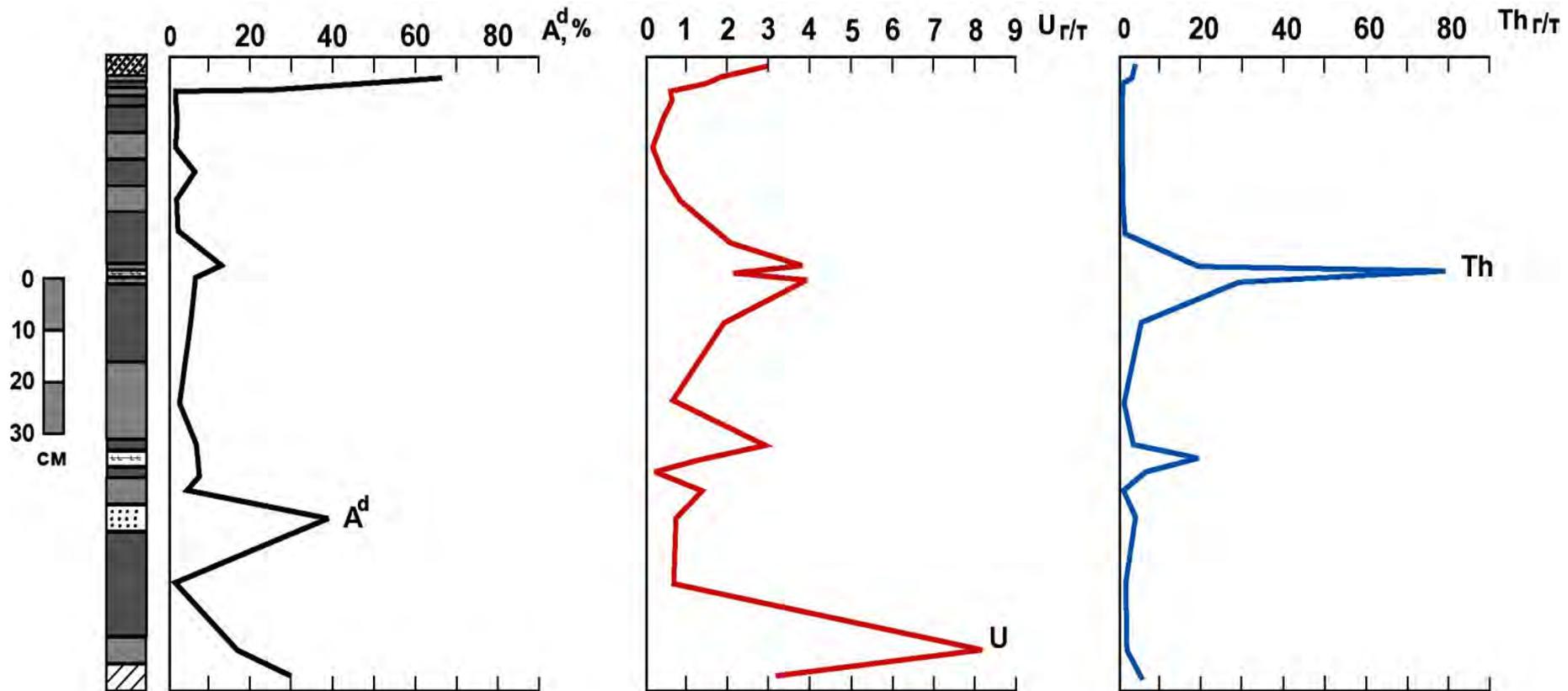


**Тонштейны в угольном пласте
II Азейского месторождения
Иркутского бассейна**

Тонштейны в угольном пласте Мощный месторождения Нурс Хотгор (Фото В.С. Машенькина, 2009)



Пласт Двухаршинный, Черногорское месторождение, уголь



Условные обозначения:



тонштейн



песчаник



алевролит



аргиллит



уголь

Апофиза Сыркашевского силла в пласте ХХХІ (Кузбасс)

