

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

**УДК 552**

**О.Е. Шестакова**

### **ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И ГЕНЕЗИС ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ**

Среди горняков и геологов, занимающихся рудными полезными ископаемыми, существует традиционное мнение, что уголь является невынятой горной породой с точки зрения его петрографического состава и строения. Однако, изучение углей даже на макроскопическом уровне позволяет различать в них ингредиенты, составляющие литотипы, подобно тому как минералы составляют горные породы. При микроскопическом изучении в ингредиентах углей различают микрокомпоненты, называемые мацералами. Петрографический состав и строение литотипов, взаимоотношения в них ингредиентов, сложенных определенными парагенезисами мацералов зависят от генезиса углей.

#### **1. Этапы и стадии образования углей**

Уголь – твердая горючая горная порода, образовавшаяся из отмерших растений в результате их биохимических, физико-химических и физических изменений. Различные свойства отдельных углей обусловлены их происхождением.

Процесс углеобразования включает два этапа: торфообразование и углефикация (табл. 1). Этап торфообразования проходит в условиях земной поверхности достаточно быстро в геологическом времени за тысячи и десятки тысяч лет. Он проявляется в процессе седimentогенеза, в котором из высших растений образуется торф, а из низших растений и планктона – сапропелевый ил. Следующий этап углефикации протекает в недрах Земли очень продолжительно в геологическом времени за миллионы, десятки и сотни миллионов лет. Этот этап включает две стадии: диагенез и метаморфизм углей. В стадию диагенеза торф превращается в бурый уголь, а сапропелевый ил – в сапропелевый уголь. В стадию метаморфизма бурый уголь перерождается в каменный, а каменный – в антрацит. Степень перерождения зависит от температуры и давления, по которым метаморфизм подразделяется на катагенез и метагенез углей. Каждая новая стадия для углей сопровождалась его погружением на все большие глубины (рис. 1 б).

В настоящей работе изучается петрографический состав углей, который закладывается на этапе торфообразования и формируется на стадии диагенеза углей. В дальнейшем перерождении

углей при метаморфизме их петрографический состав не меняется, происходит лишь преобразование мацералов и ингредиентов. Таким образом, генезис углей определяется процессами и фациями болот, где происходили седimentогенез и диагенез углей.

В этап **торфообразования** (в стадию седimentогенеза) растительные остатки подвергаются *дезинтеграции* (механическому разрушению), *седиментации* (осаждению), аккумуляции (накоплению). В дальнейшем, если отмирающие растительные остатки покрывались слоем стоячей обедненной кислородом воды, препятствующей *тлению* (исчезновению), то происходило *гниение* (разложение) растительного материала, и из высших растений при гумификации образовывался торф, а из низших растений и планктона при битуминизации – сапропелевый ил. Фации образования торфа соответствуют торфяным болотам (верховым, переходным и низинным), располагающимся в побережьях морей, озер и рек, а фации образования сапропеля соответствуют открытым водоемам (рис. 1 а). Фациальные условия характеризуются многими факторами, важнейшими из которых являются степень влажности среды и режим кислорода. В зависимости от них проявляются различные процессы биохимического разложения: тление, гумификация и битуминизация.

*Тление* – это окисление и полное разложение материала высших растений во влажной среде при свободном доступе кислорода в аэробных условиях. В результате растительные остатки исчезают, образуются минеральные вещества (зола),  $H_2O$ ,  $CO_2$ .

*Гумификация* – это биохимическое разложение высших растений, протекающее сначала на поверхности зарастающего болота при доступе кислорода, где образуются гуминовые кислоты (перегной), а затем при погружении перегноя ниже уровня болотных вод под слой стоячей обедненной кислородом воды, где перегной превращается в торф, который дает начало гумусовым углям.

*Битуминизация* – это процесс биохимического разложения низших растений (микроскопических водорослей) и зоопланктона (мелчайших свободноплавающих животных), проходящий ниже уровня болотных вод без доступа кислорода в ана-

Таблица 1. Характеристика этапов и стадий углеобразования [2, 3, 4]

Этапы	Природные виды и технологические марки		Ступень метаморфизма	Геологические стадии углеобразования	Процессы преобразования растительных остатков
	название	обозначение			
торфообразование	Торф	Т	-	<b>седиментогенез</b> – накопление растительных остатков Т и Р нормальные	дезинтеграция, биохимическое разложение: гумификация, битуминизация
утленификация	Бурый уголь	Б	0	<b>диагенез</b> – превращение в уголь Т до 50-75°C, Р до 15-25 МПа, глубина до 1-3 км	биохимическое коллоидообразование: гелефикация, фюзенизация, иллювиация, элювиация, битуминизация
	Каменный уголь	КУ	I	<b>метаморфизм – перерождение углей</b>	<b>катагенез</b> Т до 130-180°C, Р до 200 МПа, глубина 3-7 км
	Длинно-пламенный	Д	II		<b>метагенез</b> Т выше 150°C до 300-350°C, Р до 600 МПа, глубина 5-10 км
	Газовый	Г	III		геологические процессы: перекристаллизация, физико-химические, тектонические
	Жирный	Ж	IV		
	Коксовый	К	V		
	Отощенно-спекающийся	ОС	VI		
	Тощий	Т	VII-X		
	Антрацит	А			
	Графит			метаморфизм горных пород	

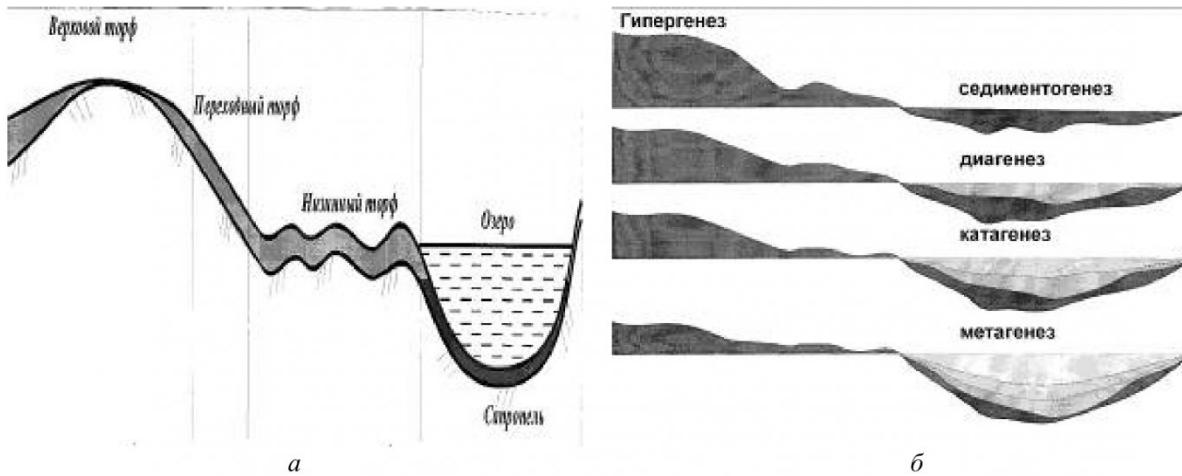
эрбовых условиях, в результате чего образуется сапропелевый ил. Процесс битуминизации, начавшийся в стадию седиментогенеза, продолжается в стадию диагенеза, что приводит к образованию сапропелевого угля. Условия битуминизации соответствуют фации болот, переходящих в водоемы, а также открытых застойных водоемов (озер, зарастающих озер, заливов, морских лагун).

**Диагенез** углей начинается после перекрытия торфяника наносами рыхлых отложений. Тогда, перешедшие в коллоидный раствор растительные остатки подвергаются биохимическим процессам превращения.

В зависимости от фациальных условий болота, режима кислорода, обусловленного уровнем бо-

лотных вод, определяется характер микроорганизмов – аэробный (кислородный) или анаэробный (бескислородный), и протекают определенные биохимические процессы: гелефикация, фюзенизация, иллювиация, элювиация, битуминизация.

**Гелефикация** – процесс превращения лигниноцеллюлозной ткани высших растений в гелефицированный коллоидный раствор, образующийся в бескислородных условиях с участием анаэробных бактерий. Такие условия соответствуют фации застойных болот с высоким уровнем грунтовых вод. В процессе гелефикации образуются блестящие материалы группы витринита (бесструктурные и структурные) и соответственно блестящие ин-



гредиенты углей витрен и кларен.

**Фюзенизация** – процесс превращения лигниноцеллюлозной ткани, а также гелефицированных компонентов в частично кислородных условиях с участием аэробных бактерий в твердый необратимый фюзенизированный коллоид. Такие условия соответствуют болотам с низким уровнем вод, то есть фации сухих болот. Некоторые исследователи связывают процесс фюзенизации с древними лесными пожарами на торфяных болотах. Доказательством этого они приводят процесс образования древесного угля, аналогичного фюзеновому, при современных пожарах на торфяниках. В процессе фюзенизации образуются мацералы группы инертинита и ингредиент фюзен.

Разложение и переход растительных остатков в гелефицированные и фюзенизированные коллоидные растворы может проходить двумя разными путями. В одних случаях происходит полное разложение растительного вещества с его диспергированием в коллоидный раствор. Такие растворы называются растворами разжижения, и при затвердевании из них образуются бесструктурные мацералы основной массы углей (коллинит, микринит), а ингредиент кларен (рис. 2 в). В других случаях части растений (фрагменты), переходят в коллоидное состояние при медленном набухании без нарушения структуры первичных растительных тканей. Такие растворы называются растворами набухания, из них образуются структурные мацералы (телинит, фюзинит), а ингредиенты вит-

рен и фюзен. Если размеры фрагментов растений большие и достигают нескольких сантиметров и даже дециметров, то такие структурные компоненты называются ксиленами – витреноксилен и фюзеноксилен (рис. 2 а, б).

**Элювиация** – процесс выноса образовавшихся гуминовых, гелефицированных и фюзинизированных коллоидов проточными водами, обогащеннымными кислородом и накопление липоидных мацералов группы липтинита, образующих дюреновые угли. Такие условия характерны для фации проточных болот.

**Иллювиация** – процесс переноса и отложения гелефицированных и фюзенизированных коллоидов и формирование незакономерной изменчивости петрографического состава углей в пределах угольного пласта.

Стадия диагенеза продолжается при погружении на глубину до 1-3 км, где температура поднимается до 50-75°C, давление до 15-25 МПа, и после дегидратации, затвердевания коллоидов и уплотнения материала образуется бурый уголь. Его объем по сравнению с исходным объемом торфяника уменьшается в 3-5 раз [2].

## 2. Петрографический состав углей

Микрокомпоненты, составляющие органическую часть углей, не имеют кристаллической решетки и постоянного химического состава, поэтому их нельзя рассматривать как минералы. В прошлом веке с помощью специального химического

Таблица 2. Характеристика мацералов ископаемых углей [1]

Группы	Характеристика мацералов
<b>витринит Vt</b> (гелефицированные)	<b>телинит</b> – витринизированные ткани растительных фрагментов клеточного (структурного) строения
	<b>коллинит</b> – бесструктурная витринизированная основная масса, цементирующая все другие мацералы и минеральные вещества
<b>семивитринит Svt</b> (фюзинито- гелефицированные)	<b>семителинит</b> – вторичная фюзенизация по телиниту с клеточной структурой
	<b>семиколлинит</b> – вторичная фюзенизация по бесструктурному коллиниту в виде участков различной формы и размера
<b>Инертинит I</b> или <b>фюзинит F</b> (фюзенизированные)	<b>фюзинит</b> – фюзенизированные ткани растительных фрагментов клеточного (структурного) строения, встречается в виде обломков, линз или вытянутых участков различной ширины
	<b>микринит</b> – зерна округлой формы, бесструктурный, встречается в тонкодисперсном виде в коллините
<b>липтинит L</b> (липоидные)	<b>спорингит</b> – оболочки спор, состоящие из воскоподобного вещества, встречается в виде сплющенных колец
	<b>кутинит</b> – остатки кутикулы поверхностного слоя листьев и молодых побегов, встречается в виде полосок, с одной стороны которых край ровный, с другой – зазубренный или волнистых полос без зубчиков
	<b>резинит</b> – смоляные тельца образуют округлые, овальные зерна, палочки, формы заполнения клеток, неправильные формы
	<b>суберинит</b> – стенки клеток коровых (пробковых) тканей в виде каёмок вокруг коровой ткани
	<b>альгинит</b> – колонки водорослей определенной формы или бесструктурная сапропелевая основная масса, цементирующая форменные элементы и минеральные примеси, образует сапропелевые угли
	начиная с IV ступени метаморфизма, соответствующей коксовой технологической марке неотличимы от мацералов группы витринита

Таблица 3. Характеристика ингредиентов углей [2]

Ингредиенты	Характеристика ингредиентов
<b>витрен В</b> vitrum – стеклянный	блестящий уголь черного цвета, однородной структуры с раковистым стеклообразным изломом и эндогенными трещинами, твердый (по шкале Мооса твердость 2), плотный, хрупкий. Простой ингредиент, поэтому встречается в угле в виде штрихов, линзочек, прослойков и полос. Мацералы: группа Vt (телинит) – 100 %
<b>кларен К</b> clarus – ясный	полублестящий уголь, черного цвета, более вязкий, менее трещиноватый, чем витрен. Сложный ингредиент, поэтому встречается в виде пачек и пластов углей. Мацералы: Vt (в основном коллинит, меньше телинит) >75%, I + L < 25 %
<b>дюренено-кларен ДК</b>	смесь сложных ингредиентов кларена и дюрена с преобладанием кларена, встречается в виде пачек и пластов углей. Мацералы: Vt (в основном коллинит) 60 – 75%, L + I составляют 25– 40 %
<b>кларено-дюрен КД</b>	смесь сложных ингредиентов дюрена и кларена с преобладанием кларена, встречается в виде пачек и пластов углей. Мацералы: Vt (в основном коллинит) 45 – 60%, L + I составляют 40 – 55 %
<b>дюрен Д</b> durus – твердый	матовый уголь серовато-черного цвета, твердый (по шкале Мооса твердость около 3), однородный, плотный, вязкий, содержит много минеральных примесей и иногда похож на аргиллит. Сложный ингредиент, встречается в виде пачек и пластов углей. Мацералы: L + I > 55%, Vt < 45 %
<b>фюзен Ф</b> fusain – волокнистый	матовый уголь с шелковистым блеском, серовато-черного цвета, волокнистый, напоминает древесный уголь, самый мягкий (по шкале Мооса твердость менее 1), рыхлый, сажистый, мажется, излом землистый. Простой ингредиент, поэтому встречается в угле в виде штрихов, линзочек, прослойков и полос. Мацералы: I – 100 %

растворения сумели выделить из углей стойкие микрокомпоненты и назвали их мацералами. Среди них обнаружены структурные мацералы углей, форменные элементы (стойкие части растений) и минеральные примеси. При микроскопическом изучении шлифов и аншлифов установили, что в угле мацералы включаются в основную массу и цементируются ею. Основная масса представляет собой смесь бесструктурного гумусового геля, растительного шлама и тонкодисперсного минерального вещества. В настоящее время понятие

«мацерал» видоизменилось. Теперь к мацералам относят все микрокомпоненты углей, включая и бесструктурные микрокомпоненты из основной массы. Мацералы изучаются под микроскопом в отраженном свете с масляной иммерсией в специально изготовленных шашках из эпоксидной смолы с запрессованным в них тонкораздробленным углем, а также в аншлифах. Кроме того мацералы изучаются в шлифах и тонких срезах под микроскопом в проходящем свете.

Мацералы образуются в стадию диагенеза из

Таблица 4. Строение и петрографический состав литотипов углей [2]

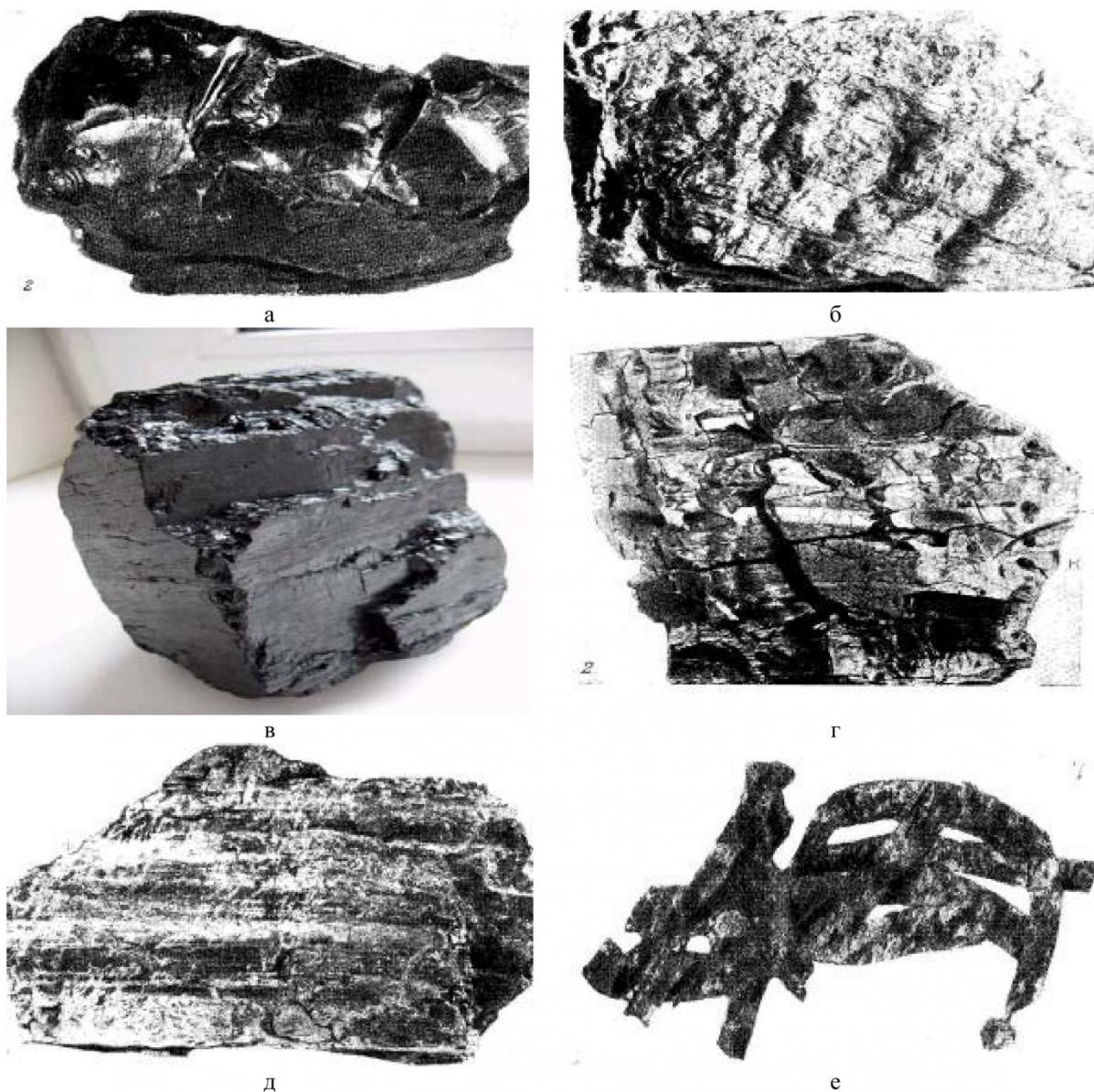
Макроструктура		однородная	полосчатая	комплексно-полосчатая		
Макротекстура		массивная	тонкослоистая	грубослоистая		
Присутствие сложных и простых ингредиентов		один сложный ингредиент или ксилен	один сложный ингредиент и один или два простых	два сложных ингредиента, могут присутствовать и простые		
Литотипы	блестящий	Петрографические виды литотипов	витрено-ксилен	Vкс	не бывает	не бывает
	блестящий		кларен	К	K+(B+Φ)	K+Д±(B+Φ)
	полублестящий		дюренено-кларен	ДК	ДК+(B+Φ)	ДК+Д±(B+Φ)
	полуматово-вый		кларено-дюрен	КД	КД+(B+Φ)	КД+К±(B+Φ)
	матовый		дюрен	Д	Д+(B+Φ)	Д+К+(B+Φ)
	матовый		фюзено-ксилен	Фкс	Фкс+(B+Φ)	Фкс+К±(B+Φ)

Примечание. Сложные ингредиенты и литотипы: К – кларен, ДК – дюренено-кларен, КД – кларено-дюрен, Д – дюрен. Простые ингредиенты: В – витрен, Ф – фюзен, Вкс – витреноксилен, Фкс – фюзеноксилен

единого исходного материала и сочетаются в виде определенных парагенезисов органических и неорганических микрокомпонентов, а затем эти парагенезисы фиксируются в дальнейших стадиях метаморфизма углей. Мацералы отличаются между собой по показателю отражения (блеску), цвету, микрорельефу, морфологии, структуре и степени ее сохранности, а также по размерам частиц. Характеристика свойств мацералов несет информацию о нахождении их в основной массе угля или в виде включений в ней. При количественном петрографическом анализе углей органические мацералы по процессу образования и по близким химико-технологическим свойствам объединены в

три группы: гелефицированные, фузенизированные и липоидные (табл. 2).

Мацералы углей существенно различаются по химическому составу и технологическим свойствам. Их содержание в ингредиентах и литотипах влияет на качество углей. Так, мацералы группы витринита свойственно повышенное содержание кислорода, инертинита – углерода, липтинита – водорода. На равных стадиях метаморфизма наибольшим выходом летучих веществ обладают мацералы группы липтинита, меньшим – витринита, самым низким – инертинита. Эти различия уменьшаются с повышением ступени метаморфизма. Весьма отличается у микрокомпонентов



*Рис. 2. Литотипы углей: а) Вкс – витреноксилен в виде корочки на фузеноксилене; б) Фкс – фузеноксилен с волокнистой структурой (а, б – показаны поверхности горизонтального скола углей); в) К – однородный массивный кларен; г) ДК + (В) – полосчатый дюрено-кларен (темное) с прослойями витрена (светлое); д) К+ (Ф)+КД+(В) – комплексно-полосчатый литотип представляет чередование кларена (светлые полосы) с линзами фузена (темные вкрапления в нем) и кларено-дюрена (темные полосы) с прослоями витрена (светлые штрихи в нем); е) барзасский литобиолит (кутиновый уголь)*

способность к плавлению и спеканию то есть к коксование. При достижении температуры стадии метагенеза мацералы группы витринита и липтинита плавятся, группы семивитринита – размягчаются без перехода в пластическое состояние, а мацералы группы инертинита не обладают этими свойствами. Повышенное содержание в угле фузинизированных компонентов снижает его спекаемость. Неспекаемые компоненты называются отошающими, и для них рассчитывается генетический показатель – сумма отошающих компонентов  $\Sigma \text{ок} = I + 2/3 \text{ Sv}$ .

*Ингредиенты* – это макрокомпоненты углей различимые визуально невооруженным глазом. Они бывают простые и сложные. Простые ингредиенты представлены группами мацералов, образованных из единого растительного обрывка (фрагмента). Это структурные мацералы блестящей группы витринита (телинит) и матовой группы инертинита (фузинит).

Такие фрагменты достигают довольно больших размеров от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров, и становятся различимы невооруженным глазом. В качестве ингредиентов они называются витрен и фюзен. Простые ингредиенты всегда встречаются в виде прослоев и линз и никогда не образуют пласти угля по массе (табл. 3).

Сложные ингредиенты представляют собой сочетания блестящих и матовых мацералов. Всего выделяется четыре сложных ингредиента: кларен, дюрен и переходные между ними дюренено-кларен и кларено-дюрен. Характерные свойства и количественное содержание мацералов в указанных ингредиентах представлены в таблице 3.

*Минеральные примеси* – это неорганическое вещество, которое ассоциировалось с органическим веществом углей во время их накопления и последующего превращения в процессе углефикации (материнская зольность), а также в процессе добычи и обогащения угля (зольность засорения). Минеральные примеси, создавая зольность, ухудшают качество углей.

Материнская зольность представляет собой тонкие структурные срастания зерен минералов с мацералами углей, а также тонкодисперсное минеральное вещество в основной массе угля.

Такие тонкие срастания образуют общую микроструктуру угля, поэтому от материнской зольности практически невозможно избавиться даже при современном высоком уровне развития процессов обогащения.

Зольность засорения породой представлена сингенетическими прослоями пород в угольном пласте, породами кровли и почвы пласта, подработанными при добыче угля, а также минералами

Таблица 5. Генетическая классификация углей [2, 4]

Группа	Класс	Подкласс	Петрографические литотип углей	Процессы превращения	Условия накопления и превращения (фация)	
Гумолиты	Гумитолиты	Гелитолиты	блестящие однородные и полосчатые – К, К+(Ф), ДК, ДК+(В)	гелефикация, иллювиация,	низинное, переходное и верховое торфяное болото	топяные болота с постоянно высоким уровнем болотных вод (фация обводненных болот)
		Фюзено-литы	матовые однородные и полосчатые – Фкс, Фкс+(В),	фюзенизация и элювиация		периодические и весьма длительные понижения уровня болотных вод (фация сухих болот)
		Микстолиты	полублестящие, полуматовые комплексно-полосчатые ДК±(Ф±В) + КД±(В±Ф) +К и др.	переменная гелефикация и фюзенизация		характер обводнения переменный, сезонное колебание уровня болотных вод (мелкие проточные болота)
		Липидолиты	матовые, полуматовые однородные и полосчатые – Д, Д+(В±Ф), КД, КД+(В±Ф)	элювиация, гелефикация и фюзенизация		изолированные и проточные низинные болота
	Липтобиолиты		тасманит (споры), барзасцит (кутикулы), рабдописцит (смоляные тела), лопинит (коровьи ткани)	элювиация и гелефикация		проточные низинные болота
Сапропелиты	Гумитосапропелиты		кеннель (споры и микроводоросли, сцепленные сапропелевой массой)	битуминизация и гелефикация	низинное застойное торфяное болото с открытым водным зеркалом (застающее озеро, лагуна)	
	Собственно сапропелиты		богхед (микроводоросли, сцепленные сапропелевой массой)	в основном битуминизация		

из постгентических трещин в угольных пластах.

Угли с такими видами засорения поддаются обогащению.

Среди минеральных примесей в углях установлены глинистые минералы, сульфиды (пирит, марказит), карбонаты (кальцит, доломит, сидерит), оксиды Si (кварц, халцедон, опал), гидроксид Fe (лимонит) и другие.

### 3. Литотипы и строение углей

**Литотипы углей** содержат в себе определенные сочетания сложных и простых ингредиентов, представляют собой угольные породы и слагают пласти углей. Различают 4 литотипа: блестящие, полублестящие, полуматовые и матовые угли (табл. 4). Строение углей при визуальном изучении описывается макроструктурой и макротекстурой.

**Макроструктура** гумусовых углей чаще всего бывает однородной, полосчатой или комплексно-полосчатой. Однородной макроструктурой характеризуются литотипы углей, состоящие из одного сложного ингредиента кларена (рис. 2 в), дюренено-кларена, кларено-дюрена или дюрена. Простые ингредиенты могут образовывать свои литотипы с однородной структурой – это ранее упомянутые витреноксилен и фюзеноксилен. Они образуются из коллоидных растворов набухания и представляют единые фрагменты растений, достигающих макро размеров до нескольких сантиметров и даже дециметров (рис. 2 а, б). Витреноксилен образует блестящие отпечатки листьев или углистые выделения с раковистым изломом. Фюзеноксилен может слагать уголь по массе и образовывать самостоятельные пачки в пласте угля.

**Полосчатая** макроструктура представлена сочетанием одного сложного ингредиента кларена, дюренено-кларена, кларено-дюрена или дюрена с одним или двумя простыми ингредиентами витреном или фюзеном, образующими тонкие прослой или линзы в сложных ингредиентах (рис 2 г). В зависимости от ширины прослоев полосчатая макроструктура может быть: штриховато-полосчатой с шириной штрихов 0.5-1 мм, тонко-полосчатой (1-2 мм), средне-полосчатой (2-7 мм).

**Комплексно-полосчатая** макроструктура литотипов выражается в чередовании сложных ингредиентов кларена, дюренено-кларена, кларено-дюрена и дюрена, в которых в свою очередь, могут содержаться прослои простых ингредиентов витрена или фюзена (рис. 2 д). Среди комплексно-полосчатых углей в зависимости от ширины полос сложных ингредиентов различаются средне-полосчатая (7 -10 мм), крупно-полосчатая (10 – 15 мм) и грубо-полосчатая (> 20 мм) структуры.

Кроме указанных макроструктур следует отметить: **лигнитовую** структуру бурых углей, в которых сохраняется ясно видимое древесное строение, **листоватую** структуру у барзасских липтобиолитов – «рогожек» (рис. 2 е), **волокнистую** – у фюзеноксиlena (рис. 2 б).

**Макротекстура** углей может быть массивной или слоистой (таблица 4). **Массивной** текстурой обладают однородные угли, а **слоистой** – полосчатые и комплексно-полосчатые..

Текстурно-структурные особенности углей оказывают воздействие на выраженность отдельных групп трещин, что влечет за собой легкость разрушения углей при добыче, технологической переработке и использовании. Угли с однородной структурой и массивной текстурой, образующие литотип из одного сложного ингредиента, более прочные и труднее раскалываются по плоскостям наслаждения. Угли с полосчатой структурой и слоистой текстурой характеризуются наличием прослоев витрена и фюзена. Прослои витрена, имеющего повышенную хрупкость и трещиноватость по сравнению с другими ингредиентами, являются плоскостями ослабления и, независимо от их мощности, обуславливают раскалывание угля по наслаждению. Фюзен характеризуется волокнистыми, землистыми агрегатами, но трещины по нему проходят только тогда, когда мощность его прослоев значительна, мелкие же линзы не создают ослабленных участков, и скальвания по ним не происходит.

### 4. Генетическая классификация ископаемых углей

Характер исходного растительного материала и процессы накопления, разложения и превращения растительных остатков положены в основу генетической классификации углей, в которой выделяется 3 группы: гумолиты, сапропелиты и сапрогумолиты (табл. 5).

Гумолиты образуются из продуктов разложения и превращения отмерших высших растений (деревьев, кустарников, травы и мхов). Сапропелиты сложены продуктами превращения низших растений (водорослей) и простейших животных организмов (зоопланктона). Сапрогумолиты представляют собой переходную группу углей с органическим веществом смешанного состава.

В группе гумолитов выделяют два класса: гумитолиты и липтобиолиты. Гумитолиты образованы в основном из лигнино-целлюлозной ткани высших растений. Липтобиолиты состоят из, устойчивых к биохимическому разложению, мацералов (форменных элементов).

Кузнецкие гумолиты в основном относятся к классу гумитолитов (рис 2), в котором выделяются подклассы: гелитолиты (рис. 2 в, г), фюзенолиты (рис. 2 б), микстолиты (рис. 2 д) и липтобиолиты (рис. 2 е). Последние представлены барзасскими углями – самыми древними углями на планете. Они сложены липоидным мацералом кутинитом и образованы из первого наземного растения орестовии (*Orestovia devonica Erg.*), вышедшего на сушу в девонский период).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9414.1 – 94 (ИСО 7404.1 – 84) Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 1. Словарь терминов / Межгосударственный Совет по стандартизации метрологии и сертификации. – Минск: 1994. – 16 с.
2. Жемчужников Ю.А. Основы петрологии углей / Ю.А. Жемчужников, А.И. Гинсбург. – М.: из.-во АН СССР, 1960. – 400 с.
3. Клер В.Р. Изучение и геолого-экономическая оценка качества углей при геолого-разведочных работах. – М.: Недра, 1975. – 319 с.
4. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. – М.: Недра, 1991. – 363 с.

Автор статьи:

Шестакова  
Ольга Евгеньевна  
- канд. геолого-минерал. наук, доц.  
каф. геологии КузГТУ  
Email: [Olga\\_shestakova@list.ru](mailto:Olga_shestakova@list.ru)  
Тел.8-950-274-2115

**УДК 552**

**О.Е. Шестакова**

## **ВИЗУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИРОДНЫХ ВИДОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРОК ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ**

Знание визуальной диагностики природных видов и технологических марок углей необходимо для решения ряда задач в горно-геологической практике. Это позволит оперативно определять технологическую марку углей без дорогостоящего технического анализа; правильно намечать аналитические методы исследования при выполнении технического анализа природных видов углей; прогнозировать инженерно-геологические свойства и поведение различных технологических марок при добыче углей, обогащении и других технологических процессах. Природный вид и технологическая марка углей представляют собой основные параметры технологического картирования, которое является одним из основных результатов проведения эксплуатационной разведки.

### **Метаморфизм углей**

Природные виды и технологические марки углей формируются в этапе углефикации. В стадию диагенеза образуется бурый уголь. В стадию метаморфизма бурый уголь перерождается в каменный уголь и антрацит. Метаморфизм углей протекает в земной коре под влиянием повышенной температуры и литостатического давления вышележащих горных пород и является региональным. Каменный уголь проходит несколько ступеней метаморфизма и последовательно изменяется по технологическим маркам. Весь метаморфический ряд гумусовых углей в соответствии с ГОСТ 25543-88 [2] включает три природных вида: бурый уголь, каменный уголь и антрацит. Каждый из природных видов угля объединяет определенный

перечень технологических марок, групп и подгрупп. При этом бурому углю соответствует одна технологическая марка, обозначаемая буквой – Б. Каменный уголь включает 15 марок – Д (длиннопламенный), ДГ (длиннопламенный газовый), Г (газовый), ГЖО (газовый жирный отощенный), ГЖ (газовый жирный), Ж (жирный), КЖ (коксовый жирный), К (коксовый), КО (коксовый отощенный), КСН (коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный), КС (коксовый слабоспекающийся), ОС (отощенноспекающийся), ТС (тощий слабоспекающийся), СС (слабоспекающийся), Т (тощий). Антрацит, как и бурый уголь, имеет одну марку – А. Стадия метаморфизма углей включает две фазы: катагенез и метагенез, представленные в таблице 1 и показанные на рисунке рис.1 в предыдущей статье.

*Катагенез* – это фаза низкотемпературного метаморфизма в условиях медленного и длительного погружения угольных пластов. Масштаб изменения глубин достигает 3-7 км, температура повышается до 130-180° С, давление до 200 МПа [5]. В этих условиях на смену физико-химическим процессам превращения растительных остатков в бурый уголь приходят геологические процессы перерождения бурого угля в каменный уголь. Образуются низкометаморфизованные технологические марки каменного угля I – IV ступеней метаморфизма Д, Г, Ж, К. При этом происходит дальнейшая дегидратация, уплотнение, кристаллизация коллоидов и проявляется сингенетическое растрескивание углей. Объем образующихся каменных углей уменьшается в этой фазе в 5-10 раз