



УДК 553.94/96+553.98

## О ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ УГЛЕЙ

Скурский М.Д.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»



### Информация о статье

Поступила:

17 сентября 2021 г.

Рецензирование:

22 января 2022 г.

Принята к печати:

29 января 2022 г.

### Ключевые слова:

уголь, Кузбасс, петрография, витрен, кларен, дюрен, фюзен, вещественный состав, мацералы, гумолиты, липтобиолиты, марки угля

### Аннотация.

Ископаемый уголь представляет собой твердую горючую осадочную горную породу растительного происхождения, содержащую минеральные примеси (до 50%) и залегающую в виде пластообразных залежей. Уголь – это сложный агрегат различных компонентов, сложная гетерогенная смесь, а не индивидуальное органическое или минеральное вещество. При изучении вещественного (петрографического) состава ископаемых углей в них визуальными методами различают невооруженным глазом виды, макрокомпоненты, петрографические типы (ингредиенты или, иначе говоря, литотипы). Под микроскопом в углях определяют и изучают органические вещества – форменные элементы и основную массу, которыми сложены микрокомпоненты (мацералы) угля. Мацералы (микрокомпоненты), точнее их сочетания образуют микролитотипы. Под микроскопом видны и изучаются также неорганические микрокомпоненты.

Виды гумусовых углей – бурые, каменные, антрациты, липтобиолиты. Сапропелевые угли представлены сапропелитами.

Знание петрографического (вещественного) состава углей – одно из неперемняемых условий рационального использования их в коксохимической промышленности, энергетике и коммунально-бытовом секторе. В данной статье приведены данные о видах углей, ингредиентах (литотипах) гумусовых углей, минеральных компонентах угленосных толщ и углей, органических веществах углей. Также даны некоторые сведения о происхождении углей.

**Для цитирования:** Скурский, М.Д. О вещественном составе углей // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 1 (16). – С. 31-82. – DOI: 10.26730/2618-7434-2022-1-31-82

### Введение. Некоторые определения

Макрокомпоненты углей – это элементарные составляющие, различимые невооруженным глазом (крупные фрагменты остатков растений, минералы). Минеральные компоненты в углях представляют собой различные минералы-примеси, привнесенные из горных пород.

Петрографические типы, то есть ингредиенты (литотипы) углей – это их разновидности, имеющие форму вытянутых по наслоению линзочек, полосок или слойков, слоев. За рубежом они обозначаются как литотипы угля.

Форменные элементы – разложившиеся растительные остатки углей, которые в той или иной мере сохранили свою форму и строение. Конечные продукты разложения растительных остатков, не имеющие структуры, называются основной массой.

Микрокомпоненты как составляющие форменных элементов и основной массы видимы только под микроскопом и играют роль, аналогичную минералам осадочных пород. Ископаемые угли являются более или менее сложными смесями органических микрокомпонентов (мацералов) и содержат то или иное количество терригенных (песчано-глинистых) минеральных примесей.



Главной особенностью ископаемых углей является их петрографическая неоднородность, то есть неоднородность вещественного состава, которая различается макроскопически в сложении пластов и отдельных штуфов угля и при микроскопическом изучении [1].

Конкретно в угольном пласте можно различить по крайней мере три уровня организации органического вещества:

1) микрокомпонент (мацерал) – элементарная составляющая угля, которая выделяется под микроскопом и имеет конкретные петрографические признаки и определенный химический состав;

2) тип (литотип, иначе говоря, ингредиент) угля – характерная ассоциация (парагенезис микрокомпонентов), образующая слои внутри пласта мощностью в несколько сантиметров и более;

3) угольный пласт – парагенезис типов (литотипов) или, иначе говоря, ингредиентов углей и породных прослоев, заключенных между почвой и кровлей, мощностью от первых десятков сантиметров до многих десятков метров.

По площади пласты углей, как уже отмечалось, выдерживаются на расстоянии от сотен метров до сотен километров [2].

## Виды углей

**Гумусовые угли (гумиты).** Они образовались главным образом в результате преобразования высших растений. Среди ископаемых гумусовых углей издавна различали блестящие и матовые угли, а по цвету и среднему содержанию углерода, происхождению различали: бурые угли, представляющие переходную стадию от торфов к каменным углям; собственно каменные угли (черные) и каменные угли – антрациты с сероватым ярким металлическим блеском [3, 4].

**Бурые угли.** Для них типичен бурый цвет, цвет черты на фарфоровой пластинке бурый, редко черный, иногда черта темно-бурая; излом землистый и неровный [5, 6]. Изредка встречаются смоляно-черные разновидности бурых углей. Твердость их 1,0-1,5 по шкале Мооса.

Химический состав характеризуется повышенным содержанием кислорода и присутствием гуминовых кислот (гуминовых веществ), которых нет в каменных углях. Вещества гуминовые – это аморфные темно-окрашенные вещества, продукт биохимического разложения отмерших остатков организмов, в основном растительных. Наличие гуминовых кислот определяет бурую черту углей, их гигроскопичность, то есть способность поглощать (сорбировать) пары из воздуха.

Бурые угли характеризуются значительно меньшим преобразованием растительного материала по сравнению с каменными углями. Малопреобразованные бурые угли близки к торфам.

Торфоподобный уголь представляет собой совокупность растительных остатков, связанных разложившимся гумусовым веществом. Химический состав его существенно не отличается от химического состава торфа высокой степени разложения. Гумус – сложный агрегат темноокрашенных аморфных продуктов биохимического разложения отмерших остатков организмов.

Землистый бурый уголь состоит из мелкозернистой бурой массы, при высыхании превращается в землистое (порошкообразное) вещество.

Имеются также так называемые лигнитовые бурые угли. Они отличаются лигнитовой (древесной) структурой. Лигниты – это незначительно углефицированные ископаемые древесины. Они встречаются в пластах бурых углей и сопровождающих горных пород. При высыхании (выветривании) лигнит раскалывается на слои, соответствующие годичным кольцам. Пространство между остатками стволов или обломков древесины выполнено землистым гумусовым веществом.



Плотные бурые угли имеют различную степень углефикации: одни из них близки по составу к торфоподобным (или сапропелеподобным), другие – к каменным (длиннопламенным) углям первой стадии углефикации [6].

Бурые угли по степени уплотненности, содержанию гуминовых кислот и приближению по внешнему виду к каменным углям обычно подразделяют на три группы: землистые или рыхлые («мягкие») – группа углей  $B_1$ , матовые – группа  $B_2$  и блестящие плотные – группа  $B_3$ . Угли групп  $B_1$  и  $B_2$  от каменных углей отличаются палевой (светло-коричневой), коричневой или черной с коричневым оттенком окраской, способностью на воздухе быстро буреть, растрескиваться. Угли бурые группы  $B_3$  имеют буровато-черный и черный цвет. Три группы бурых углей – это одна из их промышленных классификаций по степени углефикации (группе углефикации). Группа углефикации – это совокупность углей, характеризующихся определенными физическими и химическими свойствами и петрографическими особенностями (особенностями вещественного состава).

Эти особенности обусловлены процессом углефикации. Для бурых углей синонимами термина «группа углефикации» являются степень углефикации, стадия углефикации, а для каменных углей – стадия (степень) метаморфизма. На многих месторождениях среди бурого угля слабой степени углефикации встречаются залежи лигнита.

В международной классификации углей граница между углем бурым и каменным устанавливается по высшей теплоте сгорания 5700 ккал/кг на влажную беззольную массу. В настоящее время количество теплоты сгорания измеряется в джоулях (1 джоуль равен 0,24 калории).

По содержанию углерода можно разделить бурые угли (менее 75%) от каменных (более 75%). В бурых углях содержание водорода 4,5-6%, кислорода 20-30%, выход летучих веществ 40-67% [7].

Типичные бурые угли более гигроскопичны, чем каменные и содержат обычно свыше 10% и до 20-25% лабораторной влаги (количество влаги, которое сохраняется в углях при нагревании до 105°C), тогда как каменные угли часто менее 5% [5].

Экономическая ценность бурых углей значительно меньше, чем каменных. Их теплопроизводительная способность менее каменных.

Бурые угли отличаются высоким содержанием влаги, пониженной теплотой сгорания, при хранении на воздухе разрушаются, не могут перевозиться на дальние расстояния. Однако, методы термической переработки и окускования позволяют получить из бурых углей транспортабельное топливо с высокой теплотой сгорания, пригодное для использования в промышленности и для коммунально-бытовых целей. Подобное топливо также можно использовать в качестве углеродистых восстановителей [8].

**Каменные угли.** В отличие от бурых они имеют черный цвет, черную, лишь иногда (при низкой степени углефикации) темно-коричневую, буроватую черту на фарфоровой пластинке, более сильный блеск и большую плотность. Они содержат больше углерода, меньше кислорода и водорода, не имеют свободных гуминовых кислот.

Каменный уголь – это ископаемый гумусовый уголь более высоких стадий углефикации (катагенеза, метаморфизма), чем бурый. Он представляет собой твердую (твердость 2), плотную массу (плотность 1,1–1,3 г/см<sup>3</sup>) черного, иногда черно-серого цвета с блестящей, полуматовой или матовой поверхностью. Излом углей крупно- и мелкозернистый, раковистый [9].

Каменный уголь состоит из продуктов глубокого разложения и изменения растительных остатков, образовавшихся при отмирании высших растений.

**Антрацит.** Это наиболее углефицированная высокометаморфизованная разновидность ископаемых каменных углей. Антрацит по степени обуглероживания представляет собой самый высший член ряда среди гумусовых углей [5, 10]. Углефикация, как уже указывалось, является совокупностью процессов преобразования торфа в уголь и дальнейшего изменения угля под действием геологических факторов: повышения температуры и давления.

Уголь переходит в антрацит в условиях контактово-термального и регионального (динамотермального) метаморфизма, под воздействием повышенной температуры и давления.



Преобразование угля в антрацит при контактово-термальном метаморфизме происходит при внедрении интрузивных тел на расстоянии до 200 м от угольных пластов [10]. При этом развиваются температуры 600-750°C [11]. Иногда уголь превращается в естественный кокс (остаточный продукт коксования каменных углей, отвечающий требованиям промышленности). Естественный природный кокс определяется по внешнему виду по пористости, серому цвету, матовому блеску столбчатой отдельности. Он образуется при воздействии интрузии на угли, их плавлении при непосредственном контакте магмы с углем [12].

В стратиграфическом разрезе угленосной толщи, мощность которой может достигать 18 км, в условиях регионального метаморфизма антрациты образуются на глубинах более 8 км, где температура недр нередко превышает 200 °С. В нижней части этой толщи температура может достигать 350 °С [11, 13].

Антрацит имеет черный, серовато-черный, черно-серый иногда серый цвет с металлическим желтоватым оттенком. Блеск антрацита сильный (яркий) металлоидный (алмазный). Он имеет повышенную плотность (1,5–1,7 г/см<sup>3</sup>), значительную твердость по минералогической шкале (2,0-2,5), пористость 1-2%. Текстура плотная. Полосчатость наблюдается редко. Полосы проявляются обыкновенно вследствие скопления фюзинита или закономерного (полосчатого) распределения минерального вещества [6, 9, 11].

**Суперантрацит** – антрацит высшей стадии углефикации. Он образуется при температуре 600–900 °С [12].

Блеск угля усиливается с увеличением степени его метаморфизма (углефикации). У бурых углей он тусклый жирный и смоляной, у коксовых – стеклянный, у антрацитов – алмазный [14]. Максимальный показатель отражения витринита 18,4%.

Для антрацита типичен раковистый, реже зернистый излом, однородность строения; черта бархатисто-черная, серо-черная и всегда с сероватым металлическим оттенком. Отдельность может быть призматической, параллелепipedальной, сфероидальной (шаровой), цилиндрической, осколочной, брекчиевидной [6]. Содержание углерода в органической массе антрацита высокое (94-97%), летучих веществ низкое (8-12%), кокс не спекается вовсе и дает порошок. Влаги антрацит содержит очень мало, содержание водорода в нем 1-3 %, кислорода 2-3 %, азота менее 1 % [5]. Антрациты большинства месторождений стран бывшего СНГ обладают высоким качеством. Они мало- и среднезольные, малосернистые (за исключением донецких), обладают высокой удельной теплотой сгорания 8100-8200 ккал/кг, механической прочностью и термической стойкостью, низким удельным электрическим сопротивлением [15].

В стадии антрацитов встречаются не только гумусовые угли, но и сапропелиты [6].

Липтобиолиты – ископаемые угли, состоящие преимущественно из наиболее стойких частей высших растений: оболочек спор, кутикулы, пробковой ткани коры и смоляных тел. Внешний вид липтобиолитов зависит от слагающих его микрокомпонентов. Они могут быть полублестящие, тускло блестящие со смолистым блеском и полуматовые, плитчатые и слоистые; смоляные с серовато-черным мерцающим блеском, плотные и массивные, зернистые; довольно слабые, при сдавливании рассыпаются в зернистую массу. По своим свойствам они приближаются по некоторым признакам к сапропелитам [16], дают повышенный выход летучих веществ и первичного дегтя при сухой перегонке, характеризуются повышенным содержанием водорода. По петрографическим особенностям, физическим и химическим свойствам они приближаются к гумусовым каменным углям дюреновым с липоидными микрокомпонентами. Некоторые исследователи липтобиолиты включают в липоидолиты группы гумолитов [4, 16, 17, 18]. Богатые спорами палеозойские дюрены иногда незаметно переходят в угли, состоящие из скоплений почти одних оболочек спор, которые можно назвать уже липтобиолитами. Естественно, что также постепенно меняются и их внешние свойства. Смоляные липтобиолиты могут напоминать дюренов, отличаясь всегда большей однородностью и матовостью. Несколько в стороне стоят листоватые кутикуловые липтобиолиты, имеющие ряд своеобразных черт, по сравнению с обычным представлением об углях [5]. Липтобиолитовые угли, как правило, не образуют мощных пластов, являющихся объектом открытой разработки [19].



### **Сапропелевые угли (сапропелиты).**

Они образовались за счет скопления остатков простейших животных и растительных организмов. Сапропелиты существенно отличаются от гумолитов по исходному материалу, внешнему виду и физико-химическим свойствам. Прежде всего они матовые, зернистые, имеют массивное (однородное) строение (неслоистые) и обладают низким удельным весом, характеризуются сравнительно хорошей сохранностью водорослей, из остатков которых они в основном состоят [18, 20, 21].

Макроскопически сапропелиты отличаются от гумолитов сероватым оттенком, матовым блеском, раковистым и полураковистым изломом и однородностью структуры с отсутствием в ней полосчатости [4, 22].

Для полевой диагностики сапропелевых углей при документации добычных уступов можно использовать признаки, установленные иркутскими геологами.

Сапропелевые угли режутся ножом, след ножа и стружка имеют желтый и светло-бурый оттенок. Такой же цвет имеет порошок, образуемый при истирании этих углей. Гумусовые угли в порошке имеют буро-черный и красно-черный цвет. Примесь гумусового материала приводит к потемнению цвета и разрушению стружки, увеличению количества раковин скола на поверхности среза [19].

Искапаемые сапропелитовые угли слагают маломощные прослои незначительного протяжения среди различных типов гумолитов. Лишь в отдельных месторождениях сапропелиты образуют целые пласты или пачки промышленной мощности [17].

По составу, характеру разложения и превращения органического материала среди сапропелевых углей (сапропелитов) различают: собственно сапропелиты, сапропелито-гумиты и гумито-сапропелиты.

Обычно сапропелитовые угли находятся среди бурых и каменных углей низкой степени углефикации. Они установлены в углях буроугольной, длиннопламенной и газовой стадий углефикации и сами часто заключают гумусовые примеси. Это может быть и в основной массе и в виде включений форменных элементов, происходящих из остатков высших растений. Примерами чистых сапропелитов являются богхеды. Они отличаются совершенно матовым блеском, массивной однородной текстурой, лишенной слоистости, характерным раковистым изломом, относительной легкостью, если зольность их невелика. В противном случае богхеды переходят в горючие сланцы [5, 16]. Цвет в куске светло- и темно-коричневый и серый, иногда почти желтый; черта желтая или светло-коричневая; воспламеняются от спички и горят ярким пламенем, при горении издадут запах жженой резины. При выветривании темнеют, но вязкости и крепости почти не теряют [16].

Характерная особенность элементного состава сапропелевых углей – высокое содержание водорода. Если для торфа, бурого и каменного углей оно составляет 5-6 % и падает для антрацита до 3 %, то сапропелитовые угли содержат 8-12 % водорода [23].

Сапропелиты характеризуются по сравнению с гумусовыми углями (гумитами) высоким выходом летучих веществ: пары воды, диоксид и оксид углерода, углеводороды (преимущественно метан  $\text{CH}_4$ ); также имеются кислород, сернистый газ, аммиак, первичный деготь; теплота сгорания большая. Они являются ценным химическим сырьем [4].

### **Ингредиенты (макроингредиенты, литотипы) гумусовых углей**

Ингредиенты гумусовых углей – это составные их части, различимые невооруженным глазом, неодинаковые по блеску, излому, цвету, строению и трещиноватости. В них макроскопически можно различить также включения неорганических пород и минералов.

В гумусовом угле невооруженным глазом отчетливо выделяются в пластах угля два блестящих ингредиента (литотипа) – витрен и кларен и два с матовым блеском дюрен и фюзен. По существу это петрографическая классификация (петрографические типы) каменных углей по макроскопическим признакам, используемая в международном масштабе. В ингредиенты входят все основные органические и неорганические микрокомпоненты угля. Ингредиенты





даже по разнице в оттенках их блеска придают гумусовым углям полосчатость. Уже по оттенкам блеска можно судить о том, в какой среде происходило накопление и отчасти превращение материнского вещества углей. По этим же признакам также можно предположить, где могут быть использованы в народном хозяйстве те или иные угли. В настоящее время бесспорным является то, что блестящие угли при соответствующей степени углефикации обладают наивысшей спекающей способностью, и поэтому их целесообразно использовать только в коксохимической промышленности, а матовые угли наоборот плохо спекаются, поэтому они пригодны лишь для энергетических целей.

Блестящий литотип (ингредиент) углей имеет ясно выраженное полосчатое строение, но иногда полосчатость бывает несколько затушевана. Полосчатое строение обуславливается чередованием в разрезе значительно блестящих и менее блестящих полосок, представленных витреном и клареном [20].

Различия в ингредиентах возникают еще в торфяной стадии. В зависимости от состава исходного растительного материала и условий его превращения закладываются основы блестящих или матовых петрографических типов углей. Решающими факторами, обуславливающими возникновение отдельных составных частей угля (ингредиентов), являются уровень вод торфяников, который определяет продолжительность действия различных микроорганизмов и стойкость растительных остатков [5].

**Витрен.** Он образует очень блестящие полосы в каменных углях в виде узких линзообразных прослоев, часто прослеживающихся на расстоянии 30см, а иногда до 2 м при толщине от 1 мм до 2 см, реже более. Иногда целые пачки угольного пласта сложены линзами и полосками витрена. Содержание витрена, различного макроскопически в угольных пластах Кузбасса колеблется от 5 до 20% [24]. Относительно других витрен самый блестящий (стеклянный блеск), наиболее черный и хрупкий. Для витрена типичен раковистый излом, часто наличие на изломе глазковых образований (мелкая глазковая отдельность). Характерны перпендикулярные к направлению вытянутости линз, полосок трещины отдельности. Под микроскопом различают гелифицированные микрокомпоненты: однородный витрен (коллинит) и витрен, сохранивший структуру растительных тканей (теленит). Зольность витрена наименьшая по сравнению с другими ингредиентами (3-5%), наибольший выход летучих веществ; при соответствующей степени углефикации имеет хорошую спекаемость, высокую коксующую способность.

Спекаемость углей – способность образовывать при коксовании однородные монолиты из связанных между собой зерен угля, прошедшего через пластическое состояние.

Витрен является одной из лучших разновидностей ископаемых углей [20]. Вместе с тем часто линзы и прослойки витрена пронизаны резко выраженными трещинами. Вследствие большой хрупкости при добыче угля витрен превращается в мелочь, что приводит к ухудшению коксуетности более крупных классов, обедненных витреном [25].

**Кларен.** Это макроскопически видимая полублестящая или блестящая составляющая каменного угля с смолистым, смолисто-жирным блеском. Сильно зольные кларены, то есть с большим количеством минеральных примесей теряют присущий им блеск [10]. Кларен в неоднородных углях встречается в виде полос различной толщины, а иногда почти целиком составляет пласты однородного угля. В некоторых клареновых углях наблюдается полосчатость, обусловленная наличием витреновых прослоев или светлого дюрена.

Цвет черный, излом угловато-неровный, трещиноватый, относительно хрупкий, довольно мягкий. По всем физическим и химическим свойствам при одинаковой углефикации приближается к витрену. Менее блестящий и менее хрупкий по сравнению с витреном [26].

В качественном отношении кларен характеризуется как один из лучших ингредиентов и несколько уступает в этом отношении витрену. Это обусловлено тем, что в нем больше половины всей массы представлено витренизированными, почти бесструктурными тканями.

Кларен хорошо коксуется, он дает несколько вспученный, недостаточно крепкий кокс, поэтому при коксовании к нему необходима присадка дюреновых углей. Зольность кларена



непостоянна. Иногда она не превышает 20%, но нередко содержание золы возрастает до 20-30% (угли Челябинского бассейна) [20].

Под микроскопом в кларене 75-90% занимают гелифицированные микрокомпоненты (телинит, коллинит) и лишь отчасти – фюзенизированные микрокомпоненты (фюзенит, микринит), представляющими собой структурные остатки растительных тканей. Еще меньшая доля приходится на липоидные микрокомпоненты, представленные стойкими к разложению элементами растений.

Блестящие каменные угли – витрен и кларен (носители спекающей способности) представляют собой основу углей, пригодных для коксования и производства синтетического жидкого топлива. Эти ингредиенты углей образуются в сильно обводненных застойных болотах. Процесс их образования носит название гелификации, при которой происходит набухание и остуднение растительных остатков [14].

Блестящие разновидности угля витрен и кларен отличаются наибольшей чистотой, то есть не загрязнены минеральными примесями.

**Дюрен** – наиболее матовый плотный и вязкий, крепкий ингредиент ископаемых каменных углей, встречающийся в виде полос различной толщины в неоднородных углях, а также образующий слои и целые пласты однородных углей. По мере повышения зрелости (углефикации) углей дюрен приобретает серый оттенок и некоторый блеск.

Дюрен очень твердый, излом неровный с шероховатой поверхностью или гладкий. Похож на аргиллит, содержит в себе много золы. Слоистость в дюрене отсутствует или выражена слабо. Нередко он содержит тонкие линзы или полосы блестящего и волокнистого угля. Будучи значительно более прочным, чем витрен, дюрен придает углям устойчивость при дроблении [25].

Качество дюреновых углей разнообразно. Оно зависит от характера основной массы и степени зрелости (углефикации), вида и количества форменных образований, которые составляют в нем до 50 % и более. Форменные образования – это видимые под микроскопом остатки растений, сохранивших прежнюю структуру (строение) растительных тканей. В дюрене такие структурные остатки растений, различимые под микроскопом, носят название фюзинит, а присутствующее наряду с ним бесструктурное вещество – микринит. Они составляют так называемые фюзенизированные микрокомпоненты в дюрене. Кроме них в нем имеются так называемые липоидные микрокомпоненты (группа лейптенита). Фюзенизированные и липоидные микрокомпоненты в дюрене составляют 75-90 % и лишь 10-25 % в нем занимает гелифицированное вещество.

Молодые дюреновые угли дают много летучих веществ и соответственно с этим много жидких продуктов. Поэтому они являются хорошим химическим сырьем для перегонки. Средне- и высокозрелые по уровню метаморфизма дюрены представляют собой только энергетическое топливо, так как дюреновые угли обнаруживают чрезвычайно слабое спекание и не дают металлургического кокса. При коксовании жирных углей, то есть углей с большим выходом летучих, желательно прибавление дюрена с тем, чтобы кокс получался крепким. Недостатком дюреновых углей является то, что они, как правило, высокзолыны и труднообогатимы [20].

**Фюзен** (уголь волокнистый). Он образует в каменных углях черные шелковистого блеска полосы, различимые микро- и макроскопически, также небольшие линзочки, гнезда, примазки на плоскостях наложения; наиболее матовый, очень черный, пористый, хрупкий, сажистый, очень мажется, пачкает руки, легко истирается в пыль. Напоминает внешним видом древесный уголь (табл. 1).

Фюзен (под микроскопом) сохраняет отчетливо почти все особенности клеточного строения исходной растительной, чаще всего древесной ткани. Фюзен образовался в менее обводненных условиях (нежели витрен и кларен), когда растительный материал подвергался частичному окислению. Этот процесс называется фюзенизацией [14].



Таблица 1. Диагностические признаки и условия образования (фации) углей  
Table 1. Diagnostic features and conditions of formation (facies) of coals

Наименование	Диагностические признаки			Условия образования (фации)
	Структура	Текстура	Цвет, блеск, черта, излом, твердость, плотность и др.	
Бурый уголь	Биоморфная (бесструктурная), землистая (рыхлая) масса	Однородная (массивная, зернистая, листоватая); неориентированная, неслоистая; неоднородная (слоистая, пятнистая)	Цвет типичен бурый, менее буровато-черный, иногда смоляно-черные блестящие, чаще матовые, полуматовые разновидности; черта коричневая, иногда темно-бурая, редко черная; излом землистый или раковистый; твердость 1-1.5 (до 2) по шкале Мооса; шероховатый	Болотная, озерная, лагунная
Каменный уголь	Зернистая, биоморфная, землистая (рыхлая)	Однородная (массивная, неслоистая), уголь состоит из одного ингредиента; неоднородная (слоистая, полосчатая), уголь состоит из нескольких ингредиентов	Черта черная, иногда темно-коричневая, твердость 2 и до 3,5-4 у антрацита, плотность 1,1-1,52 г/см <sup>3</sup> ; <i>витрен</i> – очень блестящий, наиболее черный и очень хрупкий; плотность 1,28-1,3 г/см <sup>3</sup> ; излом раковистый с глазковыми образованиями; крупно- и мелкозернистый, однородный; образует длинные линзы мощностью 1-3 см; трещиноватость нормальна к слоистости, т.е. вертикальная; <i>кларен</i> – блестящий, полублестящий, черный; излом угловато-неровный, трещиноватый, хрупкий; плотность 1,27-1,29 г/см <sup>3</sup> ; по сравнению с витреном менее блестящий и менее хрупкий; слоистый дюрено-клареновый, фюзено-клареновый, витрено-клареновый; <i>дюрен</i> – матовый, плотный (плотность 1,2-1,27 г/см <sup>3</sup> ); вязкий, твердый, сероватый оттенок цвета, излом неровный; шероховатый или гладкий; похож на аргиллит; часто неслоистый, зернистый; <i>фюзен</i> – волокнистый, шелковистый, наиболее матовый; очень черный, плотность 1,37-1,52 г/см <sup>3</sup> ; пористый, сажистый (пачкается); очень хрупкий, внешне похож на древесный уголь; однородный слоистый кларено-фюзеновый	Болотная, озерная, лагунная





Наименование	Диагностические признаки			Условия образования (фации)
	Структура	Текстура	Цвет, блеск, черта, излом, твердость, плотность и др.	
Липтобиолиты (каменные угли, образованные из более стойких частей высших растений). По петрографическим, физическим, химическим свойствам приближаются к дюреновым углям	Зернистая	Слоистая, массивная (плотная)	Полублестящие, тускло-блестящие со смолистым блеском, матовые, полуматовые, плитчатые, листоватые; смоляные, серовато-черные с мерцающим блеском, сглаженный неровный излом. Известны плотные массивные липтобиолиты, имеющие зернистое строение (Жемчужников, Гинзбург, 1960). Резко отличаются от гумусовых углей по химическому составу, приближаются к сапропелевым. Липтобиолитовый уголь довольно слабый, при нажатии в руках рассыпается в зернистую массу	
Сапропелиты (угли сапропелевые, образованные из низших растений. Продукты диагенеза и метаморфизма сапропеля (гнилостного ила)).	Зернистая	Однородная (массивная, неслоистая). Неоднородная слоистая, тонколистоватая. Прослой среди гумусовых углей	Блеск матовый, хорошая сохранность водорослей, низкий удельный вес. В отличие от гумолитов, имеют сероватый оттенок. Имеются также буроватый и даже зеленоватый оттенки; встречаются бурые, черно-белые и черные сапропелиты. Излом раковистый, полураковистый, черта светло-желтая, бурая. Режутся ножом	

Фюзен обладает низкими технологическими показателями. Имеет пониженный выход летучих веществ, не спекается, понижает коксуюемость, высокозольный. Он представляет собой наиболее зольную часть угля.

Фюзен и витрен обнаруживаются в угольных пластах в резко подчиненном количестве. Дюрен, кларен и переходные ингредиенты (полублестящий дюрено-кларен, полуматовый кларено-дюрен) преобладают в углях и слагают его пласты целиком или их части.

В пластах угля рассмотренные его ингредиенты (петрографические типы) встречаются в самых различных комбинациях: они могут чередоваться в разрезе пласта через определенные интервалы или, чаще всего, без определенной закономерности.

Основными факторами, обусловившими возникновение тех или иных петрографических типов (ингредиентов) углей, являются физико-географические условия и прежде всего степень обводненности торфяников (углеобразователей). В том случае, когда торфяники были обильно увлажнены, то есть над торфяником был слой воды до 2 м, образовывались при углефикации блестящие, а при недостаточном увлажнении возникали полуматовые и матовые полосы угля. Степень увлажнения торфяников в свою очередь зависела от микроколебательных тектонических движений земной коры, которые являлись основной причиной колебания уровня грунтовых вод в торфянике. Таким образом, изучая петрографическое строение угольных пластов, можно восстановить физико-географическую обстановку эпох углеобразования [20].



При определении принадлежности угля к тому или иному литотипу (ингредиенту) принимают во внимание степень его метаморфизма (углефикации). При увеличении последнего блеск угля непрерывно возрастает. Блеск углей служит одним из основных показателей степени углефикации. Один и тот же литотип на стадии бурых, каменных и антрацитовых углей характеризуется различным блеском. В процессе метаморфизма угля увеличивается не только интенсивность блеска (точнее отражательная способность витрена), но и его характер. У бурого угля блеск витрена тусклый или смоляной. У каменного он изменяется от жирного до сухого стеклянного. Антрацитам присущ металлический блеск, в нем имеют место все ингредиенты угля (витрен, кларен, дюрен, фюзен), выделенные методом травления под микроскопом [27].

Блеск образца угля, а следовательно, и принадлежность его к определенному литотипу устанавливают путем сравнения с блеском заключенных в нем прослоев и линз витрена, - его более однородной и блестящей составной части. Если суммарный блеск угля мало отличается от блеска витрена, то такой уголь относится к блестящему литотипу – кларену.

Наименьший блеск имеет фюзен, к которому приближается по этому признаку матовый литотип угля – дюрен. Поэтому при макроскопическом петрографическом исследовании углей в первую очередь выявляют наличие в них литотипов простого состава – витрена и фюзена [28].

Как самостоятельные литотипы, формирующие название петрографического типа угля, характеризующие ингредиенты рассматриваются только при определенной мощности слоев, а именно: витрен и фюзен более 3 мм, а дюрен и кларен, также переходные ингредиенты - более 10 мм. При мощности менее указанной ингредиенты фигурируют в названии в качестве включений, прослоев.

Приведенная макроскопическая диагностика ингредиентов гумусовых углей справедлива лишь для каменных углей. К бурым углям она не может быть применена.

К примеру, матовый артемовский бурый уголь (Дальний Восток) оказался типичным клареном, а тускло блестящий – настоящим витреном, иногда с явной растительной структурой. Итак, здесь витрен является тусклым, а не блестящим, а кларен – определенно матовым. Таким образом, если бы мы применили для ингредиентов бурых углей те же макроскопические критерии диагностики что и для каменных, то впали бы в ошибку. Вместе с тем фюзен, то есть волокнистый уголь в линзах и примазках, оценивается на глаз как матовое вещество, начиная от бурых углей и до антрацита.

Особо следует подчеркнуть, что блеск обоих блестящих ингредиентов (витрена, кларена) и дюрена является переменной величиной. Поэтому утверждение, что витрен и кларен всегда блестящие, а дюрен – всегда матовый, имеет ограниченное и относительное, а отнюдь не абсолютное значение [5].

Резюмируя значение петрографического состава для различия в блеске, следует отметить, что при прочих равных условиях, то есть в одном и том же полосчатом угле, витрен всегда будет самым блестящим, несколько тусклее блестит кларен; далее следует дюрен и наконец, фюзен, как обладающий наименьшей отражательной способностью.

Основную часть полосчатых каменных углей составляют обычно кларен и дюрен. Возможная изменчивость блеска одного и того же ингредиента в бурых и каменных углях, а также в каменных различных стадий метаморфизма определяется разными причинами. Рассмотрим некоторые из них. Возьмем, к примеру, дюрен. Его матовые полосы в бурых углях отделяются резко даже от матового же, но несколько отличного дюрена. В длиннопламенных углях ингредиенты вообще четко выделяются. В жирных углях различие в блеске постепенно затухивается, причем дюрен становится все более блестящим. Это происходит за счет особого, ближе еще химически не изученного видоизменения непрозрачной и прозрачной основной массы в сторону их единства, сильнее подчеркнутого в тощих углях и полностью проявляющегося в антрацитах. Здесь дюрен можно подозревать лишь в тех более зольных полосках, которые иногда выделяются среди этих разностей углей своей более шероховатой поверхностью. Таким образом, диагностическим признаком дюрена служит здесь не органическая масса его, а напротив, минеральные примеси, свойственные главным образом



дюрону [5]. Упомянутая выше прозрачная масса углей это видимые в них под микроскопом конечные продукты разложения растительных остатков, не имеющие структуры.

Второй пример, фюзен, то есть волокнистый уголь. Он в линзах и призмах оценивается на глаз как матовое вещество, как уже отмечалось, начиная от бурых углей и до антрацита. Однако сказанное относится только к тем видимым под микроскопом фюзинизированным тканям растений, которые состоят из полых клеток с неразбухшими стенками. Но находятся и такие, которые уже не имеют клеточных просветов и в которых клеточные стенки почти полностью заняли все пространство и слились в одно целое. Сравнительное изучение таких образований в проходящем (в тонких шлифах) и отраженном (в полировках) свете показывает, что эти непрозрачные в тонком шлифе тела на аншлифе (полированном образце угля) определяются желтовато-белыми, то есть сильнее отражающими свет, чем даже окружающая серая (гуминовая) масса кларен-витрена. Таким образом, возможно, что в этих случаях фюзен в высоких стадиях углефикации (метаморфизма) будет неотличим от блестящего угля. Но лишь только он сохраняет хотя бы частично свое клеточное строение с полыми клетками, сейчас же обнаруживается его матовость. Так как это бывает чаще, то фюзен, поскольку он заметен невооруженным глазом, почти всегда оказывается матовым.

Третий пример вариации блеска углей. Известно, что фактором матовости углей является наличие значительного содержания тонкорассеянных частичек минеральных примесей (высокая зольность). Вообще говоря, носителем таковых чаще всего оказываются дюрены, которые от этого становятся еще более матовыми. В некоторых случаях зольными могут быть и кларены. Такая диффузная зольность характеризует, например артемовские клареновые бурые угли, отчасти карагандинские каменные и некоторые другие. Тонкое рассеяние глинистого вещества делает соответствующие ингредиенты более матовыми, чем они должны бы быть по другим признакам. Так, в этом отношении особенно интересен триасовый антрацитовый уголь (Дальний Восток). Он даже в полированном виде дает матовую поверхность с силой блеска около 6%, то есть не превышающей блеска длиннопламенных углей. Это обстоятельство легко объясняется большой его зольностью, которая достигает 25%. Несомненно, что во многих случаях, не столь разительных, зольность оказывает некоторое понижающее влияние на блеск различных углей.

Таким образом, блеск или матовость каждого ископаемого угля является функцией совместного действия по крайней мере трех независимых переменных: 1) петрографического состава, 2) степени углефикации или «зрелости» угля и 3) зольности [5].

## **Минеральные компоненты, конкрециенность угленосных толщ и углей**

### **Минеральные компоненты углей**

Ископаемый уголь представляет собой единую систему органических веществ (мацералов) и неорганических компонентов (минералов). Поэтому состав и количество (содержание) минеральной части – одни из важнейших характеристик углей. Содержание минералов в углях от единиц до 3-4 десятков процентов. Они определяют многие важные свойства, использование углей в промышленности, оценку их металлоносности, обогатимости, а также характеристику получаемых шлаков и зольных уносов, образующихся при сжигании, экологические задачи из-за токсичности выбросов [13, 15].

Минеральные компоненты углей условно разделяют на две группы: макро- и микрокомпоненты (соответственно при содержании их более или менее 1% в минеральном веществе). К макрокомпонентам в большинстве случаев относятся соединения кремния, алюминия, железа, кальция, магния, серы, а в ряде случаев натрия, калия, титана. В качестве микрокомпонентов в углях обнаружены почти все химические элементы.

Содержание, состав и распределение в угле минеральных веществ обусловлены особенностями (условиями) накопления и превращения исходного растительного материала в процессе углеобразования [29].



Неорганические компоненты, содержащиеся в угле, можно подразделить на следующие генетические группы: 1) накопившиеся в процессе жизнедеятельности растений – углеобразователей (реликтовые минералы); 2) привнесенные в торфяник водой и ветром как механические примеси; 3) выпавшие из растворов; 4) образовавшиеся в торфе и угле в результате биохимических и физико-химических процессов углеобразования. В углях обнаружено свыше 40 минералов в виде породных прослоев, линз, конкреций, тонкорассеянного материала, органоминеральных соединений. Наиболее часто минеральные образования в ископаемых углях предоставлены сульфидами (пирит  $\text{FeS}_2$ , марказит  $\text{FeS}_2$ , халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ ), карбонатами (кальцит  $\text{CaCO}_3$ , сидерит  $\text{FeCO}_3$ , арагонит  $\text{CaCO}_3$ ), сульфатами (гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , целестин  $\text{SrSO}_4$ ), силикатами и алюмосиликатами (каолинит, полевые шпаты, гидрослюда и др.). Минеральные образования в углях могут быть представлены не только обломками минералов, но и таких пород, как аргиллиты, алевролиты, песчаники и известняки. Золообразующие компоненты, входящие в состав органических соединений, находятся в углях преимущественно в составе гуматов.

Минеральные вещества, как и влага, являются балластом углей. Кроме того, они представляют собой источник образования золы, количество и состав которой существенно, а иногда и решающим образом может влиять на возможность использования углей в целом ряде производств. Так, в некоторых бассейнах, освоенных промышленностью (например, Донецком, Кузнецком, Карагандинском и др.), часть добываемых углей, органическая часть которых пригодна для коксования, не используется по прямому назначению вследствие высокой зольности, сернистости и очень трудной обогатимости.

С увеличением степени метаморфизма углей уменьшается относительное содержание в них кальция, магния и железа и увеличивается содержание кремнезема и глинозема. Это обусловлено потерей углем функциональных групп, удерживающих металлы, переходом их в минеральную форму и частичным выносом из угля.

### **Малые элементы угля**

Ископаемые угли содержат широкий комплекс редких элементов и цветных металлов, концентрация которых обычно до 0,1-0,2%, редко выше (Нерчуганское каменноугольное месторождение в Забайкалье).

Указанные элементы обозначают условным знаком «малые элементы». Различные авторы используют также термины «редкие рассеянные элементы» или «элементы-примеси» [30-38], табл. 2.

Малые элементы могут входить в состав органической части углей (в сорбированном состоянии, в виде солей органических кислот, в составе комплексных соединений) или минеральных компонентов (обменные катионы, изоморфные примеси, реже собственные минералы). Так, с органическим веществом углей всегда связаны германий, вольфрам, бериллий, ванадий, с минеральной частью – свинец, цинк, скандий. Однако роль основного восстановителя и сорбента, обуславливающего высокую концентрацию малых элементов, играет органическое вещество.

С повышением стадии метаморфизма углей и, следовательно, уменьшением активных функциональных групп снижается количество малых элементов, находящихся в солеобразной форме и связанных с органической частью угля. В органическом веществе тощих углей и антрацитов, как правило, не наблюдаются высокие содержания малых элементов.

Петрографический состав углей не определяет общие содержания малых элементов в угле, но оказывает влияние на их распределение в угольном веществе. В гелифицированных компонентах (витринит) обычно отмечают более высокие по сравнению с углем в целом концентрации германия, бериллия, вольфрама, ванадия, в отдельных случаях галлия и скандия. Концентрации германия в витрините в 5-15 раз выше, чем в инертините. Микрокомпоненты группы липтинита характеризуются наиболее низкими концентрациями малых элементов.

Содержание малых элементов в литотипах (ингредиентах) углей определяется их микрокомпонентным составом.



В зонах окисления и выветривания угольных пластов может наблюдаться как концентрация, так и вынос металлов. В большинстве случаев здесь наблюдается обогащение. Так, содержание германия в зоне окисления в 1,2-2 раза выше, чем в неокисленной части пластов.

При выветривании и окислении угольных пластов на выходах образуются три зоны: выщелачивания, цементации и первичного неизмененного угля. Зона выщелачивания характеризуется наибольшей степенью окисленности и изменением органического и минерального вещества пласта угля. Содержание в этой зоне редких элементов минимальное, так как большинство из них либо мигрировало в глубину пласта с образованием зоны цементации, либо вынесено за пределы угольного пласта [35].

Таблица 2. Содержание малых элементов в ископаемых углях  
Table 2. Content of minor elements in fossil coals

Элемент	Содержание, г/т угля				Задачи изучения
	среднее фоновое	локально-высокое	предельное	подлежащее количественной оценке	
Li	6	-	-	100	V
Be	2,5	50-100	1000	50	II
B	80	200-500	10000	200	I, IV
F	100(?)	-	700?	500	II
Na (%)	0,2	0,3	3	-	VII
P	100	-	5000	-	VII
Cl	150(?)	3000-5000	12000	-	VII
K (%)	0,2	0,4	0,9	-	VII
Sc	1,8	-	-	по $\Sigma$ TR	I
Ti	1600	5000-10000	25000	-	VII
V	30	100-300	7000	100	I, II
Cr	18	50-100	1300	100	I, II
Mn	150	1000-2000	4000	1000	II
Co	5	20-50	500	100	II, V
Ni	10	50-100	1600	100	I, II
Cu	10	30-80	?	100	I
Zn	35	100-500	3000	100	I, IV
Ca	10	20-30	100?	20	I
Ce	1,5	50-3000	6000	3; 10	I
As	25	100-500	8000	300	II
Se	5(?)	-	20000	-	I
Br	5(?)	20	-	-	-
Rb	17	20-50	?	100	V
Sr	80	500-5000	50000	1000	V
Y	10	-	600?	по $\Sigma$ TR	I?
Zr	50	400-600	860	-	V
Nb	1,2	20-200	?	-	VI
Mo	2	50-100	5000	100	I, VI, VII
Ag	0,1	1-10	28	2	I
Cd	0,5	50?	?	10	-
In	0,02	-	-	10	-
Sn	1	10-100	1000	50	I
Sb	2(?)	50-100	5800	300(?)	-
I	5(?)	-	-	-	-
Cs	1,5	5-10	-	100	VI





Элемент	Содержание, г/т угля				Задачи изучения
	среднее фоновое	локально-высокое	предельное	подлежащее количественной оценке	
Ba	150	1000-7000	50000	-	V
La	1,5	20-50	2400	по $\Sigma$ TP	I
Ce	-	-	150	по $\Sigma$ TP	I?
Yb	0,9(?)	-	70	по $\Sigma$ TP	I?
Hf	0,5(?)	-	-	-	-?
Ta	0,2(?)	-	-	-	-?
W	1,5	50-200	1900	50	I
Re	0,06	0,1-5	400	1	I
Au	0,01	1-5	40	0,1	I(?)
Hg	0,05	5-100	1000	1	II, I(?)
Tl	0,5	5-15	?	10	VI
Pb	15	50-500	1000	50	I, II
Bi	0,2	?	200(?)	20	I
U	2(?)	-	-	-	I

Условные обозначения: (?) – рассчитанные данные мало достоверны и требуют уточнения; «-» – данных нет; в соответствии с задачами изучения концентраций элементов, I – потенциально ценный компонент; II – потенциально токсичный компонент; III – технологически вредная или полезная примесь; IV – микроэлемент при сельскохозяйственном использовании; V – микроэлемент при использовании в геолого-геохимических целях; VI – экологически опасные, технологически вредные или полезные и промышленно ценные концентрации элементов пока неизвестны; VII – основной или вспомогательный параметр при углехимическом и технологическом опробовании по основному направлению энергетического или технологического использования углей.

Малые элементы в углях оцениваются, как сопутствующее промышленно ценное сырье; токсичные, технологически полезные и вредные компоненты в топливе, иногда как необходимые микроэлементы в сельском хозяйстве. Примером полезных примесей являются германий и уран, вредных – галогены, сера, фосфор, мышьяк. Последние резко снижают качество чугуна и стали, образуют налеты на различных частях паровых установок, сильно корродируют стенки котлов и труб [30].

### Конкрециенность угленосных толщ и углей.

Конкреции – это диагенетические стяжения хемогенных или биохемогенных минеральных компонентов, ясно отличающиеся от вмещающей среды (пород) составом, формой и другими признаками.

Конкреции в углях – это минеральные стяжения в поперечном сечении размером от мм до нескольких десятков сантиметров и в продольном – до десятков метров; овальной или близкой к ним формы, сферической, реже плитообразные. Конкреции в литературе известны под названием известковых почек, угольных шаров, угольных (доломитовых) почек. Большинство исследователей считает, что они образуются в торфяную стадию вследствие проникновения растворов извне или за счет эволюции торфяных растворов [17].

Обычно конкреции залегают горизонтами (конкреционными прослоями, или зонами) на определенном литостратиграфическом уровне. В нормальном сечении конкреции представляют собой цепочки – ряды, в промежутках заполненные вмещающей боковой породой. При боковом срастании отдельных конкреций образуются плаstopодобные сростки.

В кернах крупные конкреции часто представляют собой очень крепкие прослои породы с базальным цементом [2]. Среди конкреций в угленосных толщах наиболее развиты карбонатные (известковые, доломитовые, сидеритовые), сульфидные – более редки, еще более редко встречаются кремнистые конкреции.



### *Карбонатные конкреции.*

Образуют закономерные минералого-парагенетические ассоциации с вмещающими их породами различного генезиса и углями [5]. Чем больше обстановка осадконакопления приближалась к нормальной морской, тем выше роль углекислого кальция в конкрециях (и цементе пород). И наоборот, чем больше было влияние суши и распространения водоема (заливные, лагунные и лагунно-болотные фации), тем меньше участие в составе конкреций принимает углекислый кальций и ведущая роль переходит к углекислому железу. Распределение углекислого магния также закономерно, поскольку первоисточником магния является морская вода. Конкреции из отложений различных фаций отличаются содержанием фосфора, малых и редких элементов. Поэтому по минеральному составу конкреций можно судить о фациальной обстановке осадочных, в том числе угленосных, отложений, о геохимическом режиме бассейнов осадконакопления, степени распределения вод и т.п.

*Сидеритовые конкреции (почки).* Они имеются среди бурых и каменных углей. Это Рейнские, Артемовское, Челябинское месторождения бурого угля Германии, Дальнего Востока, Урала; каменные угли Румынии и др. [5].

*Угольные почки.* Это конкреции в угольных пластах, состоящие из карбонатов (доломита, кальцита, сидерита, анкерита) с примесью углистого вещества; обычно темно-серого или черного цвета. Во многих угольных почках содержатся растительные остатки хорошей сохранности [17], рис. 1. Широкое распространение угольных почек имеет место в угольных пластах Кузнецкого бассейна [5].

*Сульфидные конкреции.* Сульфиды железа, рассеянные в породах и сконцентрированные в виде конкреций в угленосных толщах, приурочены, как правило, к пластам угля и сопровождающим уголь породам. Представлены они обычно пиритом, реже марказитом и исключительно редко сульфидами свинца, цинка и некоторых других элементов.

Образование пирита, встречающегося в угольных пластах в форме конкреций, сферических желваков или в тонкорассеянном виде, связано с разложением растительных остатков, в результате которого выделяется сероводород, входящий во взаимодействие с железом. Пирит нередко встречается в верхней части или кровле пластов. Особенно насыщены им угольные пласты северного крыла Подмосковского бассейна (Боровичский район). Включения пирита или марказита в угольных пластах установлены почти во всех угольных бассейнах.

Очень часто в кровле пластов угля можно встретить железистые конкреции, представленные сферосидеритом и подобными ему образованиями (углистый железняк и т.д.).

Для количественной оценки развития конкреций пользуются коэффициентом конкреционности – процентным содержанием объема конкреционных тел по отношению к объему вмещающей породы [2, 39]. Он изменяется в широком диапазоне. Например, для угленосной толщи Донбасса он в среднем составляет 1,5%, а для отдельных толщ может достигать 10%.

На материалах Донбасса и некоторых других бассейнов подтверждена установленная в Печорском бассейне количественная и качественная корреляция между конкреционностью и угленосностью: чем выше угленосность того или иного участка геологического разреза, тем более глубокое перераспределение элементов имело место, тем выше его конкреционность. Причиной является геохимическая роль торфяников как основных генераторов углекислоты в стадию диагенеза. Особенно нежелательны включения в любых формах пирита и марказита в коксующихся углях. Тонкораспыленный пирит (серный колчедан) не может быть полностью удален при любом способе обогащения. При коксовании значительная часть его может перейти в кокс, а из кокса – в металл, резко ухудшая его качество.

Минеральные включения повышают зольность и тем самым снижают качество углей, вызывают необходимость обязательного обогащения их, удорожают стоимость угля. Крупные конкреционные формы являются бичом при эксплуатации, вызывая поломку механизмов и машин [20]. В некоторых случаях конкреции внутри угольных пластов образуют крупные скопления, затрудняющие их разработку (например, в Кузбассе) [2].



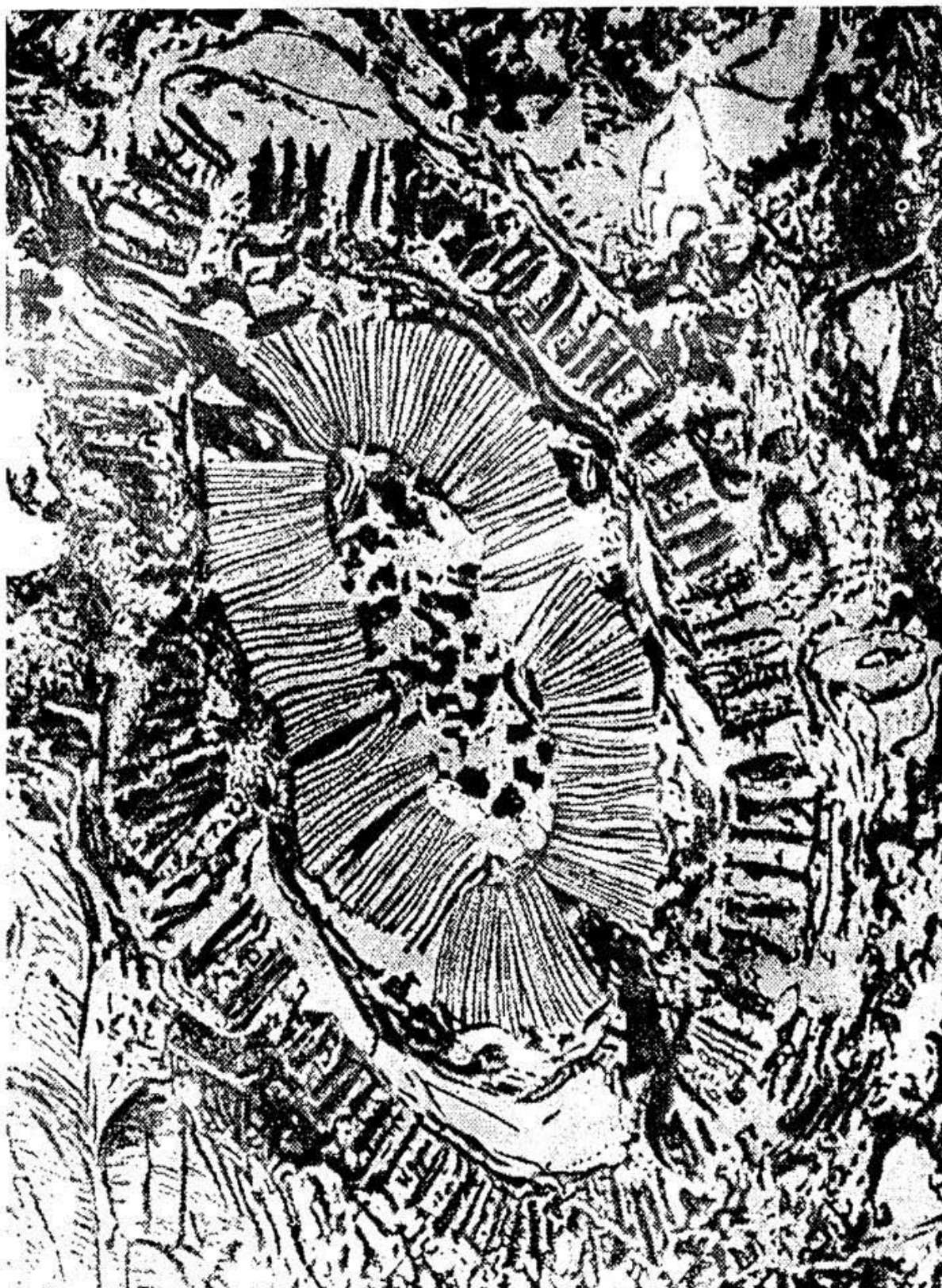


Рис. 1. Шлиф доломитовой почки с растительными тканями (по Г. Потонье)  
Fig. 1. The dolomite kidney section with plant tissues (according to the city of Potonye)





### Органические вещества углей: форменные элементы, основная масса как основа их микрокомпонентного вещественного состава.

Эти вещества выявлены и изучаются на основе микроскопических, петрографических исследований. Методы определения петрографического состава регламентированы для бурых углей ГОСТ 12112-78 (СТ СЭВ 5431-85), для каменных – ГОСТ 9414.1-94 (ИСО 7404-1-84), ГОСТ 9414.3-93 (ИСО 7404-3-84).

Изучение состава углей под микроскопом (углепетрография) – один из наиболее важных источников сведений об условиях их образования, степени изменения при катагенезе и метаморфизме и возможном направлении промышленного использования.

При микроскопической диагностике углей используются петрографические микроскопы для изучения прозрачных (тонких) шлифов в проходящем свете и микроскопы для изучения непрозрачных шлифов в отраженном свете (аншлифов), рис. 2, 3.

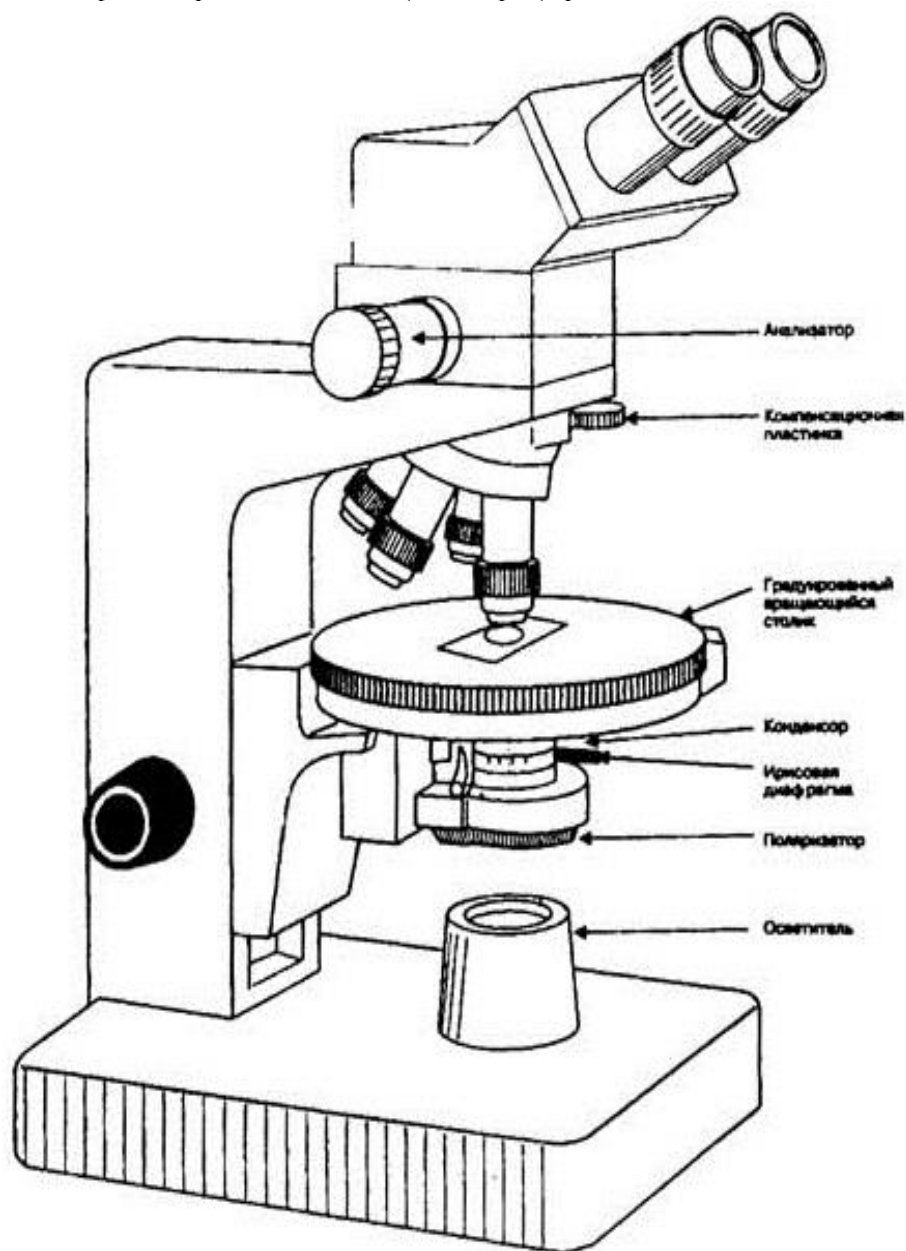


Рис. 2. Общий вид поляризационного микроскопа фирмы Leitz. Изучение минералов в проходящем свете

Fig. 2. General view of the Leitz polarization microscope. Studying minerals in transmitted light

Размеры угольного шлифа –  $2 \times 2$  см при толщине порядка 0,03 мм. Такая угольная пластинка пропускает через себя лучи света и поэтому называется тонким или прозрачным шлифом. Угли высокой степени углефикации при любой толщине угольной пластинки не дают просвечивающих шлифов. Таким образом, хорошие шлифы, пригодные для рассмотрения под микроскопом в проходящем свете, получаются только из бурых углей и из тех марок каменных, которые мало углефицированы [20]. С увеличением углефикации органические микрокомпоненты становятся непрозрачными и изучение их в отраженном свете имеет гораздо больше преимуществ [22].

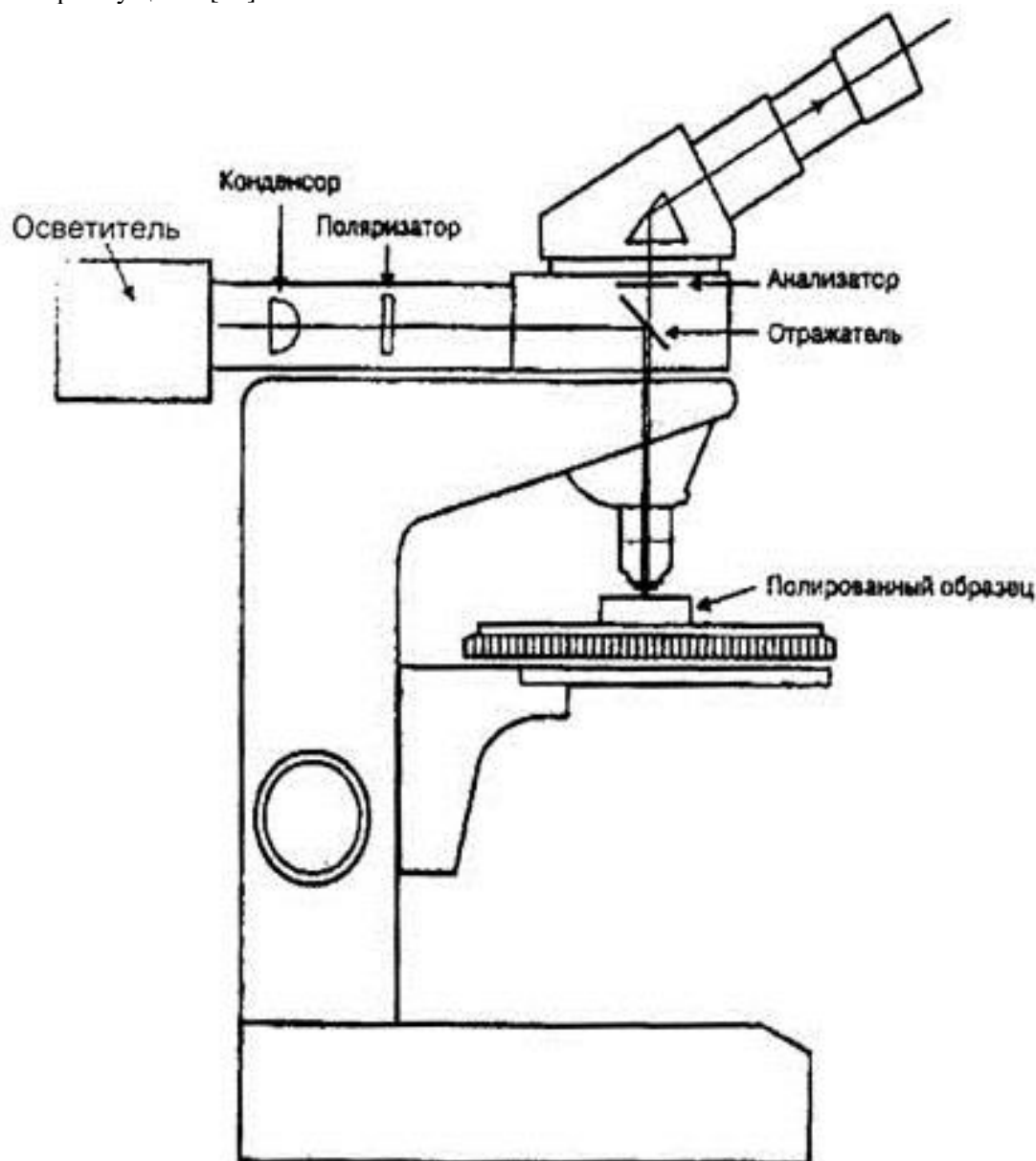


Рис. 3. Общий вид поляризационного микроскопа для изучения минералов в отраженном свете.

Изучение под микроскопом непрозрачных минералов

Fig. 3. General view of polarization microscope for studying minerals in reflected light. Studying opaque minerals under the microscope

Микроскопические исследования ботанически идентифицированных растительных остатков, обнаруженных в угленосных породах или непосредственно в самом пласте (бурый уголь), помогают установить растительное происхождение некоторых витринитов (или гумитов). Для таких исследований целесообразнее использовать прозрачные (тонкие) шлифы, а





не аншлифы, так как клеточные структуры в витринитах обычно различаются только в проходящем (простом и поляризованном) свете [22, 40]. Пропускание света измеряется в проходящем свете в шлифах. Пропускание, или пропускаемость, позволяет объективно (в числовом выражении) распознать микрокомпоненты углей и определить степень их метаморфизма и восстановленности. Пропускание света выражается отношением светового потока, пропущенного данным телом (микрокомпонентом), к световому потоку, упавшему на него. Поглощение света, а значит и пропускание зависят от толщины поглощающего слоя, то есть от толщины шлифа в каждой его точке. Из-за невозможности в настоящее время измерить эту величину истинное значение коэффициента пропускания света микрокомпонентами углей не может быть измерено [41].

Аншлиф предназначен для изучения углей в отраженном простом и поляризационном свете. Он представляет собой кусочек угля, отшлифованный и отполированный только с одной поверхности, желательно ориентированной перпендикулярно наложению угля. Ширина и длина аншлифа 2,0-2,5 см, толщина не имеет значения, для удобства изучения и хранения ее принимают равной 1,5-2 см. Для рассмотрения аншлифов применяются петрографические и металлографические микроскопы, имеющие специальную отражательную призму, которая называется опакиллюминатором.

Петрографический тип угля определяется путем подсчета в шлифах или аншлифах микрокомпонентов чистого угля и минеральных веществ.

Исследование полированных шлифов в отраженном свете как из кусков угля, так и в виде брикетов из мелких зерен угля, представляющих среднюю пластовую пробу, позволило определять содержание петрографических компонентов под микроскопом в средних пластовых пробах и связать петрографические особенности углей с их технологическими свойствами [24]. Свет отраженный, выражение «в отраженном свете» сокращенно обозначает метод оптических исследований, при которых используются световые лучи, отраженные от поверхности исследуемого вещества. Этот метод применяется при исследовании руд, углей, металлических сплавов и других непрозрачных веществ [17].

Микроскопическое изучение угля осуществляют почти исключительно в отраженном свете. Исследование прозрачных шлифов не рекомендуется, за исключением специальных целей. В пользу микроскопического изучения углей в отраженном свете имеется ряд следующих серьезных доводов: степень метаморфизма (углефикации) можно определить с требуемой точностью только путем измерения отражательной способности витринита в аншлифах. С увеличением углефикации органические микрокомпоненты становятся непрозрачными и изучение их в отраженном свете имеет гораздо больше преимуществ. При этом лучше выявляются структурные и морфологические особенности органических веществ благодаря различным показателям отражения и наличию рельефа в разных микрокомпонентах. Метод отраженного света пригоден для органических веществ всего ряда углефикации и для всех групп компонентов [22].

Измерение отражательной способности углей можно с успехом применять также для:

- 1) точного определения на опытных и действующих промышленных коксовых печах выхода из угля продуктов карбонизации, таких, как кокс, смола, газ, легкое масло и жидкость;
- 2) характеристики степени нагревания и специфических особенностей удельных весов газов при этих процессах;
- 3) классификации углей по степени сгорания;
- 4) определение показателя свободного вспучивания и теплоты сгорания углей;
- 5) контроль за способностью углей к окислению;
- 6) подразделения углей некоторых регионов в соответствии с существующей в настоящее время их классификацией [40].

Так как показатель абсорбции («поглощения») растет с увеличением степени метаморфизма, из высокометаморфизованных углей требуется изготавливать крайне тонкие шлифы. Изготовление же соответствующих тонких шлифов становится весьма затруднительным, когда выход летучих падает ниже 25 или 20%.



Количественные мацеральные анализы для определения состава угля нельзя проводить в прозрачных шлифах поскольку при подсчете мацералов (микрокомпонентов углей) явно завышают долю непрозрачного инертинита (особенно если образец содержит много инертотетринита) [40]. Аншлифы нашли широкое использование в фундаментальных исследованиях и особенно в прикладной петрологии.

Важным этапом в развитии петрологии углей была разработка и применение количественных методов. К ним относятся: метод подсчета содержания петрографических компонентов в средних пластовых пробах, метод определения отражательной способности углей с количественным выражением ее в процентах по отношению к известной отражательной способности минералов (например кварца, граната, сфалерита, галенита); метод определения микротвердости углей (в кг/мм<sup>2</sup>), метод тонкого разделения угля по удельному весу в смесях бензола и четыреххлористого углерода на отдельные микрокомпоненты и их характерные группы с количественным выражением их содержания в процентах, метод определения показателей преломления углей; метод люминесцентной микроскопии (часть мацералов проявляет люминесценцию при облучении ультрафиолетовым светом) [24]. Люминесцентная микроскопия, как и метод проходящего света, имеет ограниченное применение – пригодна для органических веществ низких и средних ступеней углефикации [22].

### **Форменные элементы, основная масса углей.**

При рассмотрении углей под микроскопом видно, что угольная масса состоит из разнообразных растительных остатков, некоторые из которых совершенно потеряли свою прежнюю структуру, другие же имеют вполне определенное строение. В тех случаях, когда воздух совершенно не участвовал в разложении растительных остатков, процессы их превращения шли настолько глубоко, что от прежней структуры растительных остатков ничего не сохранилось. В результате этих процессов образовались различные конечные продукты, входящие в состав ископаемых углей. Те из них, которые в той или иной мере сохранили свою форму, свое строение, называются форменными (структурными) элементами, а конечные продукты разложения растительных остатков, не имеющие структуры, называются основной массой. Они играют в углях роль цемента, скрепляющего воедино все форменные элементы. Количественно основная масса, как правило, преобладает над форменными элементами.

*Форменные элементы.* Они хорошо видны в тонких шлифах, в аншлифах хорошая видимость сохраняется только до средней степени углефикации, в высокозрелых углях многие из них неразличимы.

Форменные элементы представлены различными группами растительных остатков (экзины, споры, пыльца, кутикула, смоляные тельца, водоросли, стеблевые ткани). Основными из них являются споры. В проходящем свете они золотисто-желтые, в отраженном – грязно-серого цвета. С повышением зрелости углей цвет спор темнеет, и золотисто-желтая окраска постепенно переходит в красновато-бурую, в отраженном свете увеличение углефикации ведет к просветлению, споры приобретают желтый оттенок.

К форменным элементам относится также пыльца, кутикула (тонкая кожа по молодым побегам листьев, веток высших растений, смоляные тела, растительные ткани и др., также имеющие свои отличительные признаки [4, 20].

Основная масса не однородна. Ее принято делить на прозрачную и непрозрачную.

**Прозрачная основная масса.** Одни исследователи называют ее гелифицированной массой, исходя из того, что она, по сути, представляет собой коллоидальную массу или гель, другие – бесструктурной гумусовой массой.

Образование прозрачной основной массы происходит еще в торфяную стадию углей. При большом увлажнении и отсутствии кислорода на нижних горизонтах торфяной залежи растительные остатки претерпевают глубокие превращения. Этот процесс начинается с набухания клеточных стенок и превращения растительных тканей под влиянием воды, а может быть и кислот в студнеобразную массу. Затем, будучи уже в студнеобразном состоянии, растительные обрывки распадаются на мельчайшие частички и переходят в золь, то есть



превращаются в коллоидный раствор. По мере насыщения последнего происходит коагуляция, то есть процесс перехода золя из жидкого состояния в студнеобразное – в гель.

Каждой стадии превращения соответствует определенный тип основной массы. В первую стадию образуется комковатая масса, в следующую формируется однородная или гомогенная масса и в стадию коагуляции возникает хлопьевидная масса.

Соответственно, в составе прозрачной основной массы различают три разновидности: комковатую, гомогенную и хлопьевидную. Ее количество в каменных углях от 43 до 80% [20].

В проходящем свете прозрачная основная масса схожа с витреном, имеет коричнево-оранжевую, красноватую или густо-желтую окраску. Ее можно определить по неоднородности, расплывчатости и включениям.

В отраженном свете эта масса светло-серая, причем в углях с повышенной степенью углефикации приобретает светлый оттенок, то есть становится молочно-белой, такой же, как у витрена.

Установлено, что угли с повышенным содержанием бесструктурной массы обладают хорошей спекаемостью.

**Непрозрачная основная масса (опак-масса).** В отличие от прозрачной она не просвечивает при любой толщине шлифа и всегда в количественном отношении уступает прозрачной. Непрозрачная основная масса присутствует только в матовых и полуматовых углях. Матовость углей прежде всего и обуславливается наличием в них этой массы. Она неоднородна (хлопья, иголки, осколки). Происхождение хлопьев объясняется выпадением в осадок спор и минеральных частичек из коллоидных растворов. Иголки и осколки – это обрывки фюзенизированных тканей. Хлопья расплывчатых очертаний с буровато-черными оттенками и без признаков былой клеточной структуры. Они заполняют трещины и пустоты. Иголки и осколки иногда со следами клеточной структуры. В отраженном свете непрозрачная масса ярко-белая с желтизной, очень схожа с фюзеном, но без клеточных полостей, то есть бесструктурна. Содержание ее в углях не более 10-15%. Увеличение содержания непрозрачной основной массы ведет к ухудшению качества ископаемых углей.

#### **Микрокомпоненты (мацералы, микролитотипы, микроингредиенты) углей**

Это элементарные петрографические составляющие (органические компоненты) углей, мельчайшие единицы их вещественного состава. Они распознаются под микроскопом в ингредиентах (литотипах) гумусовых углей. Органические микрокомпоненты представляют собой элементы растительного материала, обладающие, с одной стороны, характерными морфологическими и структурными признаками, с другой – изменчивыми в результате метаморфизма химическими и физическими, в том числе оптическими и др.; технологическими свойствами [11, 22, 42]. Микрокомпоненты угля имеют определенный химический состав и физические свойства только при определенной стадии метаморфизма и углефикации.

Микрокомпоненты углей распознаются под микроскопом, как отдельные его составные части, микроскопически однородные, образовавшиеся в основном из одинакового исходного растительного материала и в одинаковых условиях превращения его. Разные компоненты образовались из различного исходного материала или из примерно одинакового исходного материала, но в различных условиях торфяной стадии углеобразования [24].

Подобно тому как неорганические породы состоят из минералов (например, гранит – из полевого шпата, кварца, слюды), ископаемый уголь, в том числе и антрацит, состоит из мацералов (микрокомпонентов). Однако мацералы не обладают кристаллическим строением и выделяются лишь под микроскопом. Изучение чистых концентратов мацералов позволило во многих случаях определить их химические и физические свойства [40].

Совокупность различных факторов в период накопления материнского вещества, таких, как исходный материал, степень первичной окисленности и гелификации растительных тканей, состав и характер распределения минеральных образований, предопределяет петрографический состав углей [18].

Микроскопическими исследованиями выясняют происхождение и строение микрокомпонентов, устанавливают характер их распределения в угольной массе.



Детальная характеристика микрокомпонентов (мацералов) имеет важное значение для оценки качества углей, определения их генезиса и уровня постдиагенетического преобразования.

Микрокомпоненты углей неодинаковы по своим химико-технологическим свойствам, например по содержанию углерода, водорода и спекаемости. Определены связи между содержанием углерода и водорода, спекаемостью и выходом летучих веществ, с одной стороны, и петрографическими особенностями – с другой. Установлены состав микрокомпонентов, определяющих спекаемость углей, зависимости между петрографическим составом и обогатимостью углей, прямая связь между петрографическими особенностями (микрокомпонентами) и коксуемостью углей; имеется также связь между петрографическими особенностями и реакционной способностью углей. Это представляет большое значение при оценке углей как энергетического топлива [24]. Таким образом, многообразие свойств и качество ископаемых углей определяется главным образом их микрокомпонентным (мацеральным) составом и стадией метаморфизма [42].

Микрокомпоненты, иначе говоря, микроингредиенты (характерные ассоциирующие сочетания различных микрокомпонентов угля) изучаются как неодинаковые по обогатимости, коксуемости, механической прочности и т.д. [43]. Под микроскопом они образуют слои мощностью более 50 мкм [22]. Здесь, пожалуй, уместно отметить, что с позиций макро- и микропетрографии в органическом веществе угольного ряда можно выделить несколько следующих уровней его организации:

1. Мацерал (микрокомпонент) как элементарная петрографическая составляющая угольного вещества, которая выделяется под микроскопом и имеет конкретные морфологические признаки и определенные химические свойства на данной стадии углефикации.

2. Микролитотип (микроингредиент), то есть ассоциация мацералов (микрокомпонентов).

3. Тип (литотип, ингредиент) угля – парагенетическая ассоциация микролитотипов или мацералов, образующая слои внутри пласта мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров.

4. Пласт угля – парагенезис типов углей (и породных прослоев в пластах сложного строения), заключенных между почвой и кровлей, мощностью от первых десятков сантиметров до десятков и первых сотен метров [22].

Микрокомпоненты (мацералы) углей образуют две генетические группы: группа гумолитов и группа сапропелитов.

Основными признаками, по которым микрокомпоненты объединяются в группы, являются: цвет, структура, микрорельеф и отражательная способность [23]. За эталон цвета, рельефа и отражательной способности органических микрокомпонентов принят витринит, с которым сравнивают другие микрокомпоненты. В генетических группах компоненты различают по степени сохранности растительной структуры коллинит – однородная бесструктурная стеклоподобная масса и телинит (структурный витрен) с четкой структурой клеток древесной ткани или по морфологическим признакам (фюзинит, склеротинит, споринит и кутинит) [42, 44].

Подсчет микрокомпонентов проводят в аншлифах – брикетах под микроскопом в отражательном свете с применением масляной иммерсии и при увеличении в 300-600 раз. Для исследования химических, физических, химико-технологических компонентов выделяют их концентраты методами разделения в тяжелых жидкостях путем отстаивания или в центробежном поле на центрифугах и суперцентрифугах [42].

Микрокомпоненты углей генетической группы гумолитов, образовавшихся из высших растений подразделяются на следующие три группы (таблицы 3-6).

1. Гелифицированные (группа витринита). В нее входят структурные гелифицированные микрокомпоненты (мацералы) – телинит и коллинит.

2. Фюзенизированные (группа инертинита). В эту группу входят структурные остатки растительных тканей (мацерал фюзинит), бесструктурное вещество (мацерал микринит) и др.



3. Липоидные (группа лейптинита) с мацералами: споринит, кутинит, резинит, суберинит, альгинит [11, 22, 45].

Различающиеся по химическим свойствам витренизированные, фюзенизированные и липоидные микрокомпоненты формируются в результате различных процессов превращения растительного материала при образовании угля в зависимости от степени обводненности, подвижности водной среды, быстроты захоронения растительных остатков и связанной с этим аэробности или анаэробности обстановки [2].

Таблица 3. Микрокомпоненты гумолитовых и сапропелитовых углей  
Table 3. Microcomponents of humolite and sapropelite coals

Микрокомпоненты гумолитовых углей			Микрокомпоненты сапропелитовых углей
Гелифицированные (группа витринита), в том числе: 1. Структурные гелифицированные компоненты биоморфной структуры – телинит. 2. Бесструктурное органическое вещество – коллинит	Фюзенизированные (группа инертинита), в том числе: 1. Структурные остатки растительных тканей – фюзинит. 2. Бесструктурное вещество – микринит	Липоидные (группа лейптинита), в том числе споринит, кутинит, резинит, суберинит, альгинит, липтодетринит	группа альгинита (альга – водоросль), в том числе с сохранившейся растительной структурой – альготелиниты, а с бесструктурным веществом – альгоколлиниты

Таблица 4. Номенклатура микрокомпонентов каменных углей [45]  
Table 4. Nomenclature of microcomponents of hard coal [45]

Группа, индекс	Микрокомпонент, индекс
Витринит Vt	Телинит Vtt Коллинит Vtk
+) Семивитринит Sv	Семителинит SVt Семиколлинит SVk
Инертинит J	Макринит Jma Фюзинит Jf Склеротинит Jsk Инертодетринит Jid Микринит Jmi
Липтинит L	Споринит Lsp Кутинит Lkt Резинит Lr Суберинит Ls Альгинит Lal Липтодетринит Dl Ljd
Минеральные включения М	Глинистый материал Mge Сульфиды железа Ms Карбонаты Mk Кварц Mkr Прочие Mpr

Примечание: “+” семивитринит - вещество переходное от витринита к фюзиниту [14]





Таблица 5. Схема классификации мацералов  
Table 5. Scheme of Macerals Classification

Тип исходных растительных остатков	Тип вещества	Группы мацералов	Мацералы (микрокомпоненты)	Структурные признаки мацералов	Примечания
Остатки лигнито-целлюлозных тканей высших растений	гелифицированное вещество	витринит	телинит, коллинит, аттрито-витринит	$\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ - структуры* $\Delta$ - структуры $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , $\Delta$ - структуры	мацералы групп витринита и фюзинита могут быть различного тканевого состава, т.е. ксилинитовыми, лигнититовыми, паренхинитовыми, склеренхинитовыми и т.п.
	фюзенизированное вещество	фюзинит (инертинит) **	семифюзинит, аттрито-семифюзинит, десмито-семифюзинит (макринит)	$\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , $\Delta$ - структуры $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , $\Delta$ - структуры неяснокомковатой структуры	
			фюзинит аттрито-фюзинит десмито-фюзинит (макринит)	$\alpha$ , $\beta$ , $\Delta$ , ( $\gamma$ ?) - структуры $\alpha$ , $\beta$ , $\Delta$ - структуры, преимущественно – $\Delta$ -структуры	
Остатки высших и низших растений с повышенным содержанием липидных веществ	липидное вещество	липтинит	споринит (микроспоринит, макроспоринит) кутинит, резинит, суберинит, аттрито-липтинит	-	аттрито-липтинит может быть споровым, кутикуловатым и т.п., а также смешанным
		альгинит	талломоальгинит	-	может состоять из водорослей различного ботанического состава
мацералы вторичные (миграционные?)			битуминит эксудатинит флюоринит	аморфные	сапропелевое ОВ*** (?), «выпоты» углеводородов
Остатки грибов	вещества с повышенным содержанием азота	склеротинит	склеротинит секретинит	$\alpha$ , $\beta$ , $\Delta$ -структуры	округлые включения с характерной структурой
Зооостатки		хитинит (?)		однородной структуры	остатки граптолитов, хитиноза и др.
мацералы невыясненной природы			микринит (мелкозернистый) корповитринит микстинит (сорбомикстинит)	-	витринизированные овальные и округло-угловатые тела
					тонкая смесь ОВ с минеральным веществом

\* Структуры выделяются в соответствии с классификацией И.Э. Вальц (1956)

\*\* Название группы по международной терминологии

\*\*\* органическое вещество



Таблица 6. Номенклатура мацералов по ГОСТ 9414.1-94 (ISO 7404-1-64) и Международного комитета по петрологии углей

Table 6: Nomenclature of macerals according to GOST 9414.1-94 (ISO 7404-1-64) and International Committee on Coal Petrology

Группа мацералов и минеральных включений		Мацерал		Номенклатура Международного комитета
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
Витринит	Vt	телинит коллинит витродетринит	V <sub>t</sub> V <sub>tr</sub> V <sub>td</sub>	витринит
Семивитринит	Sv	семителинит семиколлинит	Sv <sub>t</sub> Sv <sub>k</sub>	
Липтинит (экзинит)	L	споринит кутинит резинит суберинит альгинит липтодетринит	Lsp Lkt Lr Ls Lal Lid	экзинит
Инертинит	I	микринит макринит семифюзинит фюзинит склеротинит инертодетринит	Imi Ima Isf If Isk Iid	инертинит
Минеральные включения	M	глинистые минералы сульфиды железа карбонаты окислы кремния прочие минеральные включения	Mgi Ms Mk Mkr Mpr	

### Микрокомпоненты углей генетической группы сапропелитов, образовавшихся из низших растений

Здесь выделяется группа альгинита, в том числе с сохранившейся растительной структурой (мацералы альготелиниты), и с бесструктурным веществом – альгоколлиниты.

Мацералы угля редко встречаются в чистом виде. Чаще они ассоциируют с мацералами той же группы или других групп. Такие ассоциации называются «микролитотипами» [40]. Мацералы одной и той же группы различаются скорее по морфологии и структуре, чем по отражательной способности. Иными словами, между мацералами, принадлежащими к одной группе, существует лишь незначительная разница в выходе летучих веществ, элементарном составе и технологических свойствах.

Рассмотрим каждую из указанных выше групп микрокомпонентов гумолитовых и сапропелитовых углей.

### Микрокомпоненты гумолитовых углей (группа витринита, инертинита, лейптинита)

Гелифицированные микрокомпоненты группы витринита представляют собой важнейшую группу мацералов в битуминозных углях [40]. Витринит – это есть гелифицированные остатки древесины, однородные или с клеточной структурой. В группу витринита входят продукты превращения лигнито-целлюлозных тканей, подвергшиеся процессам гелификации и не обнаруживающие под микроскопом сколько-нибудь ясно выраженных изменений окраски, рассматриваемых в качестве признаков фюзенизации [22]. Мацералы группы витринита могут иметь любую форму сохранности первоначального анатомического строения и любые размеры,



начиная от крупных фрагментов и кончая мельчайшими частицами, комочками размерами в несколько микрометров [22].

Микрокомпоненты группы витринита являются продуктом углефикации гуминовых веществ, образующихся в основном в торфогенный период и частично в буроугольную стадию из целлюлозы и лигнина [46]. Образование микрокомпонентов группы витринита на торфяной и буроугольной стадиях связано с процессами гумификации и гелификации. Гумификация – процессы с образованием гуминовых кислот – происходит более энергично в торфогенном слое, несколько медленнее – в анаэробных условиях погруженных слоев торфа и затухает на стадии бурых углей. Микрокомпоненты витринита каменных углей состоят из гумитов, нерастворимых в щелочах.

Следующая стадия формирования микрокомпонентов группы витринита – гелификация. Она происходит на стадии блестящих бурых углей. В результате гелификации гумусовые ткани и гумусовый детрит принимают черный цвет, становятся блестящими и приобретают микроскопические свойства витринита.

В процессе геохимической гелификации гуминиты торфа, пройдя стадии мягких бурых и матовых бурых углей, превращаются в микрокомпоненты витринита блестящих бурых, а затем и каменных углей.

Преобразование микрокомпонентов группы витринита характеризуется четырьмя скачками углефикации, в результате которых происходит изменение их химических и оптических свойств. Первый скачок происходит в стадию длиннопламенных – газовых углей, второй – коксовых углей, третий – в стадию слабометаморфизованных антрацитов и четвертый – на границе между антрацитами и метаантрацитами [46].

В количественном отношении витриниты – это наиболее распространенная группа мацералов, встречающаяся в гумусовых углях любого бассейна и геологического возраста. Она наиболее развита в блестящих и полублестящих углях класса гелитолитов, но убывая постепенно в количестве, прослеживается вплоть до самых матовых разностей фюзенолитов, а также липоидолитов. Генетически эта группа чаще всего связана с фацией сильно обводненных застойных болот, но в том или ином количестве присутствует также в углях ряда других фаций.

В сапропелевых углях компоненты группы витринита имеют подчиненное строение, а в некоторых их разностях практически отсутствуют [22].

Микрострографические признаки витринита и лейптинита в проходящем и отраженном свете охарактеризованы по стадиям метаморфизма в таблицах 7, 8 [6].

Таблица 7. Микрострографические признаки лейптинита и витринита в проходящем свете  
Table 7. Micropetrographic signs of leuptinite and vitrinite in transmitted light

Подстадия	При одном никеле		При сокращенных николях	
	лейптинит	витринит	лейптинит	витринит
Б <sub>3</sub>	Почти черный, с высоким рельефом	серый и темно-серый	изотропен	изотропен
БД	То же	то же	то же	то же
Д <sub>1</sub>	Темный, коричневато-серый рельефный. Вокруг спор характерный черный ободок	серый различной интенсивности	“	“
Д <sub>2</sub>	То же	то же	“	“
Г <sub>1</sub>	Коричневато-серый. Довольно рельефный с заметным темным ободком вокруг микроспор	серый, несколько осветленный	“	“
Г <sub>2</sub>	Серый, рельефный. Споры с темным ободком, несколько утоненные	то же	“	“



Подстадия	При одном никеле		При сокращенных николях	
	лейптинит	витринит	лейптинит	витринит
Г <sub>3</sub>	Бежево-серый, рельеф заметен. Ободок вокруг спор менее отчетлив	светло-серый различных оттенков	изотропен	изотропен
Ж <sub>2</sub>	Песчано-серый и темно-дымчатый. Рельеф и ободок заметны слегка	то же	то же	то же
Ж <sub>3</sub>	Светло-серый, без рельефа. Ободок вокруг спор не виден	беловато-серый	“	“
К <sub>2</sub>	Коричневый, реже красноватый. Споры еле различимы	оранжево- и коричневато-красный	розовато-красный, оранжевый и темно-красный. Анизотропия отчетливая	оранжевато- и коричневато-красный. Слегка заметен плеохроизм
ОС	Коричневый, реже коричневато-красный	желтовато-коричневатый и коричневато-красный	коричневатый и оранжево-красный. Анизотропия маскируется потемнением лейптинита	оранжевато-коричневый и коричневато-красный
Т	Коричневый. Видны единичные споры	желтовато-красноватый и коричневато-красный	коричневатый и оранжевый	оранжевато-коричневый и коричневато-красный
ПА	То же	красновато-коричневый. Просвечивает неравномерно	то же	красновато-коричневый. Анизотропия резко выражена
А	Не виден	коричневато-бурый и серовато-табачный. Просвечивает неравномерно	серовато-коричневый. С трудом различимы единичные экземпляры	красновато-коричневый и желтовато-серый. Анизотропия очень резкая.

Таблица 8. Микроскопические признаки лейптинита и витринита в отраженном свете  
Table 8. Microscopic signs of leuptinite and vitrinite in reflected light

Подстадия	При одном никеле		При сокращенных николях	
	лейптинит	витринит	лейптинит	витринит
Б <sub>3</sub>	Белый, слегка желтоватый, споры слабо сплющены	от оранжевого до коричневато-красного	серовато-желтый. Почти изотропен	желтовато-бурый и коричневатый
Б-Д	Светло-желтый	то же	оранжево-желтый. Почти изотропен	желтовато-бурый и красно-коричневый. Очень слабо анизотропен



Подстадия	При одном никеле		При сокращенных никелях	
	лейптинит	витринит	лейптинит	витринит
Д <sub>1</sub>	Лимонно-желтый	от красновато-оранжевого до коричневатокрасноватого	оливково-желтый. Неравномерно анизотропный	желтовато-оранжевый и коричневый. Слабо анизотропен
Д <sub>2</sub>	То же	то же	то же	окраска та же. Анизотропен
Г <sub>1</sub>	Золотисто-желтый и соломенно-желтый	то же	окраска та же. Заметно анизотропен	то же
Г <sub>2</sub>	От ярко желтого до темно-желтого	от красновато-оранжевого до коричневатокрасноватого	буровато-желтый. Анизотропия отчетливая	оранжеватый и буроватокрасноватый. Анизотропия ярче, чем в Г <sub>1</sub>
Г <sub>3</sub>	Темно-желтый	от красновато-оранжевого до коричневатокрасноватого	то же	то же
Ж <sub>1</sub>	Оранжево-желтый и желтовато-оранжевый. Споры четкие	красноватый и оранжеватый	желтоватый. Анизотропия отчетливая	желтовато-оранжевый и коричневатокрасноватый. Анизотропия отчетливая
Ж <sub>2</sub>	Оранжевато-желтый и красновато-оранжевый	то же	темно-желтый. Анизотропия отчетливая	то же
Ж <sub>3</sub>	Оранжево-красный, коричневатый. Споры не четкие	темно-оранжевый и буроватокрасный	розово-красный, оранжевый и темно-красный. Анизотропия отчетливая	то же
К <sub>1</sub>	Красноватый и коричневатый. Споры слабо различимы	оранжевато- и коричневатокрасный	розово-красный, оранжевый и темно-красный. Анизотропия отчетливая	желтовато-оранжевый и коричневатокрасноватый. Анизотропия отчетливая
К <sub>1</sub>	Светло-серый и беловато-серый. Споры слабо различимы	желтовато-серый	изотропия	очень слабо анизотропен
К <sub>2</sub>	Беловато-серый, почти неразличим. Споры слегка плеохроируют	то же	проблематичные нитевидные обрывки белого. цвета заметно поляризуют	то же
ОС	То же	то же	то же	то же





Подстадия	При одном никеле		При сокращенных никелях	
	лейптинит	витринит	лейптинит	витринит
Т	Белый и серовато-белый	плеохроирует в серовато-белых тонах	то же	сероватый. Анизотропия заметна, но недостаточно отчетливо
ПА	Не отчетливо плеохроирует в серовато-белых тонах	отчетливо плеохроирует в серовато-белых тонах	белый, проблематичен. Отчетливо анизотропен; в сером анизотропия выражена слабее	светло-серый. Анизотропия отчетлива
А	Различимы только в положении потемнения витринита	резко плеохроирует от ярко-белого и желтовато-белого до серого и светло-серого	пепельно-серый. Отчетливо анизотропный и вполне различимый при просветлении витринита	беловато-серый и серовато-белый с резко выраженной анизотропией

В группе витринита по степени сохранности биоморфной структуры различают структурные гелифицированные компоненты (мацералы) – телинит – сохранившие в разной степени структуру растительной клетчатки, и бесструктурное гелифицированное вещество – коллинит. Содержание гелифицированного вещества является основным показателем при выделении петрографического типа угля. Гелифицированные микрокомпоненты под микроскопом в проходящем свете (в тонких шлифах) характеризуются буровато-желтыми, красными и оранжевыми тонами окрасками, а в отраженном (в аншлифах) – серыми и белосерыми.

Под микроскопом телинит распознается по ячеистой (сотовой, клеточной) структуре, унаследованной от исходного растительного материала. Стенки ячеек называются телинитом (от слова «tela» – ткань). Часто пустые ячейки (ячеистая структура витринита) выполнены коллинитом. Чистый телинит встречается редко. Телинит обычно образуется из стволов, ветвей, пней, корней и листьев деревьев [4, 40]. Телинит по цвету и отражательной способности близок коллиниту.

Телинитовые угли характеризуются слабой степенью разложения лигнито-целлюлозных тканей. Эти угли состоят из крупных гелифицированных или гелифюзенизированных или гелифюзеноподобных фрагментов тканей, обнаруживающих достаточно четко выраженную клеточную структуру растительной ткани и ее контуры. Образование телинитовых углей связано с макрофацией отложений устойчивых торфяных болот, приуроченных к аллювиально-озерно-болотным, аллювиально-прибрежно-морским и собственно морским палеогеографическим обстановкам осадко- и торфонакопления [47].

Коллинитовые угли характеризуются сильным разложением лигнито-целлюлозных тканей, при котором структура вещества стала однородной или хлопьевидной. Угли состоят из прозрачной и непрозрачной основной массы; ткани, сохранившие свою форму и структуру редки. Коллинитовые угли соответствуют макрофации устойчивых торфяных болот [47].

Гумусовый детрит, образовавшийся при активном разложении легкогидролизуемых веществ в торфогенном слое, в восстановительной обстановке превращается в коллоидные гуминовые растворы (первичный коллинит).

Термин «коллинит» происходит от греческого слова «kola», что означает «клей». Коллинит является бесструктурным компонентом витринита. В структурном витрините ячейки часто заполнены коллинитом, а стенки их состоят из телинита [40].

Коллинит может выполнять роль основной массы, цементирующей все другие микрокомпоненты и минеральные вещества, а может заполнять ячейки телинита [4].

Гелифицированными микрокомпонентами (гелифицированным веществом, преимущественно коллинитом) на 90-100% сложен витрен. Менее всех углей содержание



гелифицированных микрокомпонентов в фюзене (менее 10%). Под микроскопом в фюзене устанавливаются черные клеточные стенки, внутри полые или минерализованные, гелифицированное вещество присутствует внутри клеток и по трещинам [28]. Намечена связь с исходным материалом компонентов групп витринита и фюзинита, образовавшихся в основном за счет лигнито-целлюлозных тканей [18].

По сравнению с фюзенизированными и липоидными микрокомпонентами гелифицированные характеризуются большим количеством влаги и меньшим – золы; по содержанию углерода, водорода, выходу летучих веществ и дегтя, а также растворимости в органических растворителях занимают среднее положение между липоидными и фюзенизированными микрокомпонентами [17]. Наибольшие значения этих параметров имеют липоидные компоненты, наименьшие – фюзенизированные. Гелифицированные микрокомпоненты группы витринита в определенных стадиях углефикации обладают высокой спекающей способностью. Гелифицированные микрокомпоненты средних стадий метаморфизма хорошо спекаются и дают кокс лучшего качества. Группа витринита является основным носителем спекающей способности углей, и поэтому ценность их, как технологического сырья, в общем случае возрастает пропорционально содержанию в угле компонентов данной группы [2, 18].

Фюзенизированные микрокомпоненты – мацералы (группа инертинита). Они представлены структурными остатками растительных тканей (мацерал фюзинит с хорошо выраженной клеточной структурой с пустыми или заполненными минеральной частью обугленными клетками) и бесструктурным веществом (мацерал микринит – составная часть матового угля с полным отсутствием структуры) в разной степени фюзенизации [4, 44].

Под микроскопом в проходящем свете они характеризуются черными и буровато-черными окрасками.

Микринит (бесструктурное фюзенизированное вещество) сложен бесструктурными обломками фюзенизированного растительного детрита, то есть фюзенизированной основной массой, и округло-угловатыми телами различного размера и структуры. Фюзенизированная основная масса чаще всего встречается с микроспорами [4].

Микринит (прежнее название «тонкозернистый микринит») характеризуется округлой формой зерен и их малым размером (не более 1 микрометра). Округлая форма зерен получена с помощью электронного микроскопа. В аншлифах зерна микринита сферические бледно-серые до белых. Он находится в виде включений в коллините. Иногда микринит встречается в витрините в виде вещества, выполняющего полости клеток. Он может слагать и стенки клеток. Скопления зерен микринита могут образовывать микроскопически различимые слои микринита. Микринит часто встречается в тонкодисперсном виде в коллините. Цвет микринита в проходящем свете черный или темно-коричневый [40, 42].

Фюзинит. Из всех компонентов угля мацерал фюзинит имеет наивысшее содержание углерода. Он часто образуется из древесного угля. Фюзинит представляет собой компонент угля, который первым был определен под микроскопом в виде слоев фюзена. На основании генезиса были выявлены различия между двумя типами фюзинита, а именно пирофюзинитом и деградо-фюзинитом. Оба типа обнаружены как в торфе, так и в бурых углях. Фюзинит наиболее часто встречается в битуминозных углях. Ячеистая (клеточная) структура и желтоватый цвет пирофюзинита позволяют отличить его от белого, с менее хорошо сохранившейся ячеистой структурой деградофюзинита. Структуры растительной ткани в пирофюзините относятся к числу наиболее хорошо сохранившихся клеточных структур, обнаруженных в углях.

В отраженном свете цвет фюзинита желтовато-белый до белого, а в проходящем свете он выглядит черным.

Микрокомпоненты фюзенизированные (по ингредиенту фюзен) содержат сравнительно с гелифицированными и липоидными микрокомпонентами меньше влаги; количество золы в них колеблется в широких пределах, выход летучих веществ и содержание водорода наименьшее, содержание углерода – наибольшее, не спекаются [17, 48].



Фюзенизированные, а также липоидные (стойкие к разложению элементы высших растений) микрокомпоненты имеются в кларене, однако в нем 75-90% занимают гелифицированные микрокомпоненты (коллинит, телинит), табл. 3, 9. Фюзенизированные микрокомпоненты (группа инертинита) и липоидные (группы лейптенита) в количестве 75-90% входят в состав дюрена и лишь 10-25% в нем занимает гелифицированное вещество.

Фюзенизацию можно рассматривать как процесс окислительного превращения остатков лигнито-целлюлозных тканей растений, выражающийся в их обуглероживании и почернении при одновременной сохранности деталей исходного анатомического строения. Фюзенизации подвержены как неизменные ткани растений, так и различные продукты их предварительной гелификации [17]. Образование собственно фюзинитов обычно связывают с условиями «сухой» аэробной среды или явлениями лесных пожаров. В целом компоненты группы фюзинита встречаются в угольных пластах всех геологических возрастов и стадий углефикации. Наиболее характерны они для пластов ранней перми и юры, где образуют мощные слои углей класса фюзенолитов [22].

О важности влияния, которое оказывает присутствие фюзинита (так называемая сумма отошающих компонентов –  $\Sigma OK$ ) на химико-технологические свойства углей, свидетельствует тот факт, что количество фюзенизированных компонентов используется в Классификации углей (ГОСТ 25543-82) как кодовый показатель типа по петрографическому составу. Компоненты углей отошающие – микрокомпоненты угля, неспособные переходить при нагревании в пластическое состояние, вспучиваться и выделять жидкие и газообразные продукты. К компонентам углей отошающих, относятся микрокомпоненты группы фюзинита и 2/3 микрокомпонентов группы семивитринита [17], которые в спекающихся углях при нагревании не переходят в пластическое состояние, но размягчаются.

Липоидные микрокомпоненты (группа лейптенита) в стадии бурых углей представлены спорополинитом, кутинитом, резинитом, суберинитом [46]. Между собой микрокомпоненты этой группы различаются по морфологическим признакам, обусловленным их генезисом. Липоидное вещество представлено стойкими к разложению микрокомпонентами высших растений (более 50 %): оболочками спор, семенами, пылью, обрывками наружных защитных слоев листьев (кутикула), пробковыми тканями, смоляными телами. Цементом обычно являются или гелинито-коллинит, или гелифюзинито-коллинит. Угли этой группы связаны с макрофацией весьма устойчивых болот [47]. Все микрокомпоненты липоидного вещества имеют в тонких шлифах цвет от желтого до красного. В отраженном свете (масляная иммерсия) их цвет изменяется от черно-серого до бело-серого (в коксовых углях). Особенности микроскопического строения разных липоидных микрокомпонентов различны [4].

Более 90% липоидного вещества содержится в липтобиолитовых каменных углях. Они контролируются наличием стойких частей растений (споровый, кутикуловый, субериновый, смоляной липтобиолит). Липтобиолиты – это полублестящие и полуматовые, плитчатые и слоистые; смоляные угли. Плотные, массивные, зернистые, споровые. Они по химическому составу резко отличаются от гумусовых углей, приближаясь по некоторым признакам к сапропелитам. Липтобиолиты по петрографическим особенностям, физическим и химическим свойствам приближаются к углям дюреновым с липоидными компонентами.

В углях низких степеней углефикации липоидные микрокомпоненты по сравнению с гелифицированными и фюзенизированными микрокомпонентами того же угля содержат мало влаги и минеральных веществ; для них характерен самый высокий выход летучих веществ, высокое содержание водорода, высокий выход дегтя, низкая плотность и незначительный выход коксового остатка при сухой перегонке [17, 48]. По содержанию углерода, кислорода и азота они близки к гелифицированным разностям [2].

Липоидолиты – один из классов ископаемых углей, включает угли, состоящие преимущественно из липоидных компонентов. Микрокомпоненты группы витринита и фюзинита содержатся в них в количестве менее 50%. Гелифицированное вещество играет второстепенную роль, фюзенизированное – чаще почти отсутствует или составляет менее 10%.

Липоидолиты сопоставляются с кларено-дюреновыми и дюреновыми углями липоидного состава, а также с липтобиолитами (табл. 9-11).



Таблица 9. Микрокомпонентный состав ингредиентов углей (по [14])  
Table 9: Microcomponent composition of coal ingredients (according to [14])

Витрен	Кларен	Дюрено-кларен	Кларено-дюрен	Дюрен	Фюзен
Гелифицированное вещество, преимущественно коллинит	Гелифицированное вещество (коллинит, телинит) в количестве 75-90 %. Остальная масса представлена фюзинитом, микринитом и липонидными микрокомпонентами	Содержание гелифицированного вещества 50-75%. Остальная масса представлена фюзинитом, микринитом и липонидными микрокомпонентами.	Микрокомпоненты группы витринита имеют подчиненное значение (25-50%). Основная масса представлена фюзинитом, липонидными компонентами, частично микринитом.	Гелифицированное вещество составляет 10-25 %. Компоненты групп инертинита и лейптенита входят в количестве 75-90 % с меняющимся соотношением долевого участия.	Черные клеточные стенки, внутри полые или минерализованные. По трещинам и внутри клеток может присутствовать гелифицированное вещество

Таблица 10. Примерный микрокомпонентный состав литотипов [45]  
Table 10. Approximate microcomponent composition of lithotypes [45]

Литотип	Содержание, %	
	витринита	инертинита, лейптенита и минеральных примесей
Витрен	100	–
Блестящий кларен	> 75	< 25
Полублестящий дюрено-кларен	60-75	25-40
Полуматовый кларено-дюрен	45-60	40-55
Матовый дюрен	45	> 55
Фюзен	–	100 (инертинита)

Таблица 11. Содержания основных групп микрокомпонентов в углях отдельных бассейнов [45]  
Table 11. Contents of the main groups of microcomponents in the coals of different basins [45]

Бассейн	Возраст	Содержание в чистом угле, %			
		витринита	семивитринита	липтинита	инертинита
Донецкий	C <sub>1</sub>	48-57	1-5	19-27	20-25
	C <sub>2</sub> – C <sub>3</sub>	70-95	2-5	3-15	3-15
Кузнецкий	C <sub>2</sub> – P <sub>1</sub>	30-80	10-20	0-2	10-50
	P <sub>2</sub>	65-90	3-7	1-3	3-20
Карагандинский	C <sub>1</sub> – C <sub>2</sub>	40-60	5-20	1-6	15-35
	C <sub>2</sub> – C <sub>3</sub>	63-81	2-10	3-12	5-24
Печорский	P <sub>1</sub> – P <sub>2</sub>	68-84	5-12	0-2	10-20
Кизеловский	C <sub>1</sub>	38-58	3-5	20-30	15-37
Подмосковный	C <sub>1</sub>	36-57	4-8	10-15	18-40
Канско-Ачинский	J <sub>1-2</sub>	56-97	3-35	1-5	2-40
Южно-Якутский	J <sub>3</sub> – K <sub>1</sub>	75-95	2-6	1-3	3-18



Таблица 9 свидетельствует о том, что выделение литотипов (ингредиентов) угля может производиться не только визуально невооруженным глазом, но и по содержанию в них микрокомпонентов, в особенности групп витринита и инертинита [43].

### Микрокомпоненты (мацералы) углей высшего ранга (стадии углефикации) – антрацитов

Их номенклатура ГОСТ 9414.1.4 (ИСО 74041-84) на уровне групп микрокомпонентов представлена в табл. 12-13, по [11].

Таблица 12. Классификация органических микрокомпонентов (мацералов) антрацитов  
Table 12. Classification of organic microcomponents (macerals) of anthracites

Типы тканей и органов (петрографо-анатомическая номенклатура)*	Группы мацералов по ГОСТ 9414.1-94 (петрографо-технологическая номенклатура)			
	витринит (Vt)	семивитринит (Sv)	инертинит (I)	липтинит (L)
Ксилинит (ксилема, древесина)	ксило-витринит	ксило-семивитринит	ксило-инертинит	-
Паренхинит (паренхима)	паренхо-витринит	паренхо-семивитринит	паренхо-инертинит	-
Перидермит (перидерма)	перидермо-витринит	перидермо-семивитринит	перидермо-инертинит	-
Склеротинит (склерозии)	склеро-витринит	склеро-семивитринит	склеро-инертинит	-
Анатомически неопределимые	витринит	семивитринит	инертинит	-
Споринит (оболочки спор и пыльцы)	-	-	-	споринит
Кутинит (кутикула)	-	-	-	кутинит
Резинит (смола)**	-	-	-	резинит
Феллинит (феллема или пробка)	-	-	-	суберинит
Альгинит (водоросли)	-	-	-	альгинит

\* Редко встречающиеся микрокомпоненты (например, спорангинит, корпо-витринит и др.) не включены в классификационную схему. При описании их названия формируются по общему принципу, например споранго-инертинит, споранго-витринит и т.д.

\*\* Не является тканью или органом.

Таблица 13. Оптические признаки микрокомпонентов (мацералов) антрацитов в отраженном свете  
Table 13. Optical signs of microcomponents (macerals) of anthracites in reflected light

Микрокомпонент (мацерал)	Николи параллельны, цвет (1), двупреломление (2)	Николи скрещены, анизотропия
Витринит	1. Серый и белый 2. Сильное	Сильная
Инертинит	1. Серый, темнее витринита 2. Несогласное с витринитом, но слабее	Слабая или отсутствует
Липтинит	1. Серовато-белый 2. Сильное	Отчетливая или слабая
Альгинит	1. Серый, темно-серый, темнее витринита 2. Согласное с витринитом, но слабее	Отчетливая, слабее витринита





В вещественном составе антрацитов преобладает витринит, хотя, например, в кузнецких антрацитах преобладает инертинит.

На ряде месторождений антрацитов наблюдается на первый взгляд странное явление – рост в углях количества фюзенизированных компонентов по мере приближения к интрузивному телу. Происходит своего рода псевдофюзенизация. Это явление зафиксировано на юге Кузнецкого бассейна вблизи Сыркашевского силла диабазов в Красногорском угольном разрезе, на поле шахты «Омсукчанская» Галимовского месторождения Магаданской области [15].

### **Микрокомпоненты углей генетической группы сапропелитов**

Продукты изменения (углефикации) низших растений – одноклеточных водорослей в сапропелитовых углях выделяются в отдельную группу альгинита, табл. 3. Остатки водорослей, сохранившие растительную структуру, называют альгатиелитом, бесструктурное вещество (основная масса) – альгаколлинитом [42].

Сапропелевая основная масса представляет собой ослизневшие, потерявшие структуру водоросли или же полностью измененное образовавшееся из водорослей гелифицированное вещество [4].

Микрокомпоненты группы альгинита имеют незначительные содержания в подавляющем большинстве углей [43]. Для сапропелевого угольного вещества характерно:

а) наличие остатков с морфологическими признаками строения колониальных водорослей, а также бактерий;

б) преимущественное остуднение исходного материала с образованием структурных и бесструктурных микрокомпонентов группы альгинита;

в) большая петрографическая однородность вещества. Преобладающие микрокомпоненты менее различаются по оптическим свойствам и, как правило, имеют низкие (по сравнению с гумусовым веществом) значения отражательной способности, прозрачные и светлоокрашенные в шлифах (до средних стадий углефикации). Бесструктурная масса иногда обладает переходными признаками от альгинита к витриниту (сапропеле-гумусовая основная масса) [22].

Группа альгинита является углеобразующей в сапропелитах и гумито-сапропелитах, играет второстепенную роль в сапрогумитах и встречается в небольшом количестве в гумитах, образовавшихся в условиях наиболее обводненных фаций угленакопления [22, 23].

Микрокомпоненты углей существенно отличаются по всем химико-технологическим и физическим параметрам, в том числе и по выходу летучих веществ: паров воды, диоксида и оксида углерода, углеводородов (преимущественно метана  $\text{CH}_4$ ), кислорода, сернистого газа и других соединений. Так, компоненты группы витринита имеют в среднем выход летучих веществ в 1,5-2 раза выше, чем фюзенизированные компоненты [49].

### **Эволюция петрографического состава углей по эпохам угленакопления территории бывшего СССР**

Допалеозойское углеобразование характеризуется отсутствием промышленных месторождений.

В раннем палеозое угольные залежи с невысокой концентрацией органических веществ описаны из отложений кембрия и нижнего силура на юге Китая. Мощность пластов изменяется от 10 до 110 м, в среднем составляя 20-40 м. Угли отличаются высокой зольностью – от 20 до 90%. При содержании минеральных примесей более 50 % пласты переходят в углистые породы. Несмотря на метаантрацитовую стадию метаморфизма, в углях найдены различные биогенные структуры, на основе которых можно говорить о сапропелевом типе угольных пластов. По устным сообщениям, в Салаире (Кузбасс) отмечены находки угольных прослоев силурийского возраста, однако их петрографический состав не исследован [22].



Первые промышленные пласты угля на территории бывшего СССР связаны со среднедевонскими отложениями. Угли относятся к каменным сравнительно не высокой степени метаморфизма. Установлена отчетливая связь углей с исходным материалом, с развитием растительности от раннего к среднему и позднему девону.

Раннедевонская (305-490 млн лет тому назад) флора была еще мало приспособлена к условиям обитания на суше, в ее составе было много водных и полуводных растений. Заболоченные участки часто заливались морем, болота были быстро преходящим явлением и их остатки образовали скопления весьма незначительной мощности. Лишь дальнейшее развитие наземной флоры в среднем и позднем девоне привело к формированию угольных залежей, представляющих промышленный интерес.

Основной угольный пласт среднего девона (390-370 млн лет) Барзасского месторождения Кузбасса относится к гелитолито-липоидолитовому типу (гумусовые угли, образовавшиеся из высших растений).

В позднем девоне изменение растительности привело к образованию пластов по составу углей более близких к карбоновым, чем к среднедевонским. Маломощные линзы позднедевонских блестящих каменных углей найдены на Южном Урале среди бокситов в толще известняков с морской фауной. Такого же возраста гумусовые тонкополосчатые блестящие (клареновые) угли юго-востока Русской платформы образовались из остатков высших растений. В позднем девоне (~370-350 млн лет тому назад) в отличие от раннего и среднего были уже настоящие «углепроизводящие» леса из деревьев с мощными стволами, которые покрывали обширные прибрежные пространства.

В раннем карбоне (350 млн лет тому назад) преимущественно развиты матовые и полуматовые угли (кларено-дюреновые и дюреновые микстогумолиты с различными микрокомпонентами – липоидными, фюзенизированными, гелифицированными без резкого преобладания какого-либо из них). Это угли Подмосковного, Кизеловского бассейнов, Западного Донбасса.

В раннем карбоне значительную роль играют также блестящие и полублестящие угли (витреновые гелитолитовые пласты с повышенным содержанием фюзинита – Львовско-Волынский бассейн). Особое положение в раннем карбоне и вообще в палеозойском угленакopлении занимают пласты Экибастузского месторождения (Казахстан). Они выделяются по мощности, исключительно сложному строению, а также по наличию в их составе значительных слоев матовых и полуматовых углей (фюзенолитов, состоящих преимущественно из слабофюзенизированных и фюзенизированных микрокомпонентов группы фюзинита; содержание микрокомпонентов групп лейптинита и витринита менее 50 %. В раннем карбоне установлены также пласты угля со значительным участием гумито-сапропелитов и сапропелитов (производных низших растений), но в количественном отношении они играют подчиненную роль (2 %) [22].

В средне-позднекарбоновую эпоху угленакopления (~320-280 млн лет) состав пластов существенно изменяется. Широкое распространение получили пласты блестящего угля (гелитолитовые клареновые с высоким содержанием витринита). Это положение совершенно справедливо, если иметь в виду угленосные формации Европы. Однако разновозрастные месторождения в азиатской части бывшего СССР характеризуются иным петрографическим составом угольных залежей. Во многих пластах блестящих (гелитолитовых) углей здесь наблюдается повышенный процент матовых углей (фюзинита) – Кузбасс и, кроме того, встречаются пласты матовых и полуматовых углей фюзенолитового типа (Тунгусский, Минусинский бассейны).

В ранней перми (280-255 млн лет) происходит дальнейшее увеличение роли гелитолито-фюзенолитового и фюзенолитового топов угольных пластов, которые составляют (с учетом Тунгусского бассейна) более половины запасов углей этого периода. Остальная часть представлена гелитолитовыми пластами с повышенным содержанием фюзинита. Чисто гелитолитовые пласты в рассматриваемую эпоху имеют весьма ограниченное распространение. По сравнению со средним карбоном происходит относительное уменьшение в запасах углей пластов тонких при возрастании числа пластов средних, мощных и сверхмощных.



В поздней перми (255-230 млн лет) встречаются те же типы угольных залежей, которые были установлены для раннепермского угленакопления, но количественное соотношение их изменяется за счет более широкого развития гелитолитовых пластов. К ним относятся в основном пласты кольчугинской серии Кузбасса, имеющие довольно однообразный состав и представленные преимущественно блестящими и полублестящими гелитолитами [22], таблица 14.

Таблица 14. Сравнительная характеристика петрографических особенностей углей основных типов пластов в палеозое и мезозое

Table 14. Comparative characteristics of petrographic features of coals of the main bed types in the Paleozoic and Mesozoic

Типы и группы пластов	Палеозой	Мезозой
Гелитолитовые (I тип)	Характерны полосчатые макро- и микроструктуры. Среди гелифицированных компонентов преобладают слабоструктурные остатки и десмито-витринит	Часты линзовидно-полосчатые и штриховатые структуры. Среди гелифицированных компонентов распространены структурные остатки (паренхима, феллема, древесина). Десмито-витринит имеет ограниченное значение
Гелитолитовые с повышенным содержанием фюзинита (II тип)	Преобладают полосчатые структуры. В значительном количестве отмечаются фюзинит, семифюзинит и микринит	Штриховатые, реже линзовидно-полосчатые структуры. Присутствуют структурные фрагменты фюзинита и семифюзинита; иногда заметная примесь липтинита
Гелитолито-фюзенолитовые и фюзенолитовые (III и IV типы)	Полосчатые и штриховатые структуры, большую роль играют фюзенизированные компоненты, микринит, десмито-фюзинит	Чаще штриховатые, иногда линзовидно-полосчатые структуры. Присутствуют крупные четко структурные включения фюзинита и семифюзинита и их аттиты
Микстогумолитовые (V тип)	Наблюдаются штриховатые и полосчатые структуры. Характерно присутствие микринита, макро- и микропор, иногда водорослей	Структуры линзовидно-полосчатые и штриховатые. Большую роль играют структурные гелифицированные и фюзенизированные остатки, микропоры, смола, кутикула
Гелитолито-липоидолитовые (VI тип)	Преобладают штриховатые и тонкополосчатые структуры. Характерно сильное остуднение исходного материала и большое содержание в углях кутикулы (псилофитов)	Структуры штриховатые, иногда полосчатые. Среди липоидных компонентов преобладают включения смолы, гелифицированные остатки большей частью структурны
Гумито-сапропелитовые (VII тип)	Сапропелито-гумиты и гумито-сапропелиты чаще залегают среди углей с повышенным содержанием фюзинита и липтинита (среди микстогумолитов)	Сапропелито-гумиты, гумито-сапропелиты и сапропелиты образуют самостоятельные пласты или залегают среди гелитолитов с незначительным количеством фюзинита и липтинита



Одновременно с изменением петрографического состава происходит дальнейшее уменьшение в запасах углей пластов тонких за счет возрастания относительной роли пластов средних и мощных. По строению в некоторых типах пластов значительный процент составляют залежи очень сложные с большим количеством породных прослоев (Печорский бассейн).

В целом палеозойское угленакопление на территории бывшего СССР характеризуется большим разнообразием петрографического состава угольных пластов, изменение которого во времени и на площади может быть сопоставлено с изменением палеогеографических и тектонических факторов.

В раннем и позднем мезозое исключительно большое значение имеют гелитолитовые пласты углей. В частности, к гелитолитовому типу относятся подавляющая часть (более 95%) пластов Ленского бассейна, сверхмощные и мощные залежи Канско-Ачинского, Южно-Якутского и некоторых других бассейнов.

Второстепенные в количественном отношении типы пластов придают определенное своеобразие каждой эпохе и провинции угленакопления. Например, фюзенолитовый и гелитолито-фюзенолитовый типы пластов весьма характерны для юрских бурогольных месторождений Средней Азии и Казахстана. Образование их происходило на участках и площадях с очень плоским выровненным рельефом.

Гумито-сапропелитовые пласты установлены преимущественно в юрских отложениях Иркутского и меловых отложениях Ленского бассейнов. Для некоторых меловых месторождений Дальнего Востока характерно присутствие гелитолито-липоидолитовых пластов.

Палеогеновое и неогеновое угленакопление на территории бывшего СССР значительно уступает по своим запасам угленакоплению предшествующих периодов и характеризуется однообразным веществом – петрографическим составом угольных пластов. Во всех месторождениях практически преобладают угольные пласты с высоким содержанием мацералов (микрокомпонентов) группы витринита.

Таким образом, на территории бывшего СССР имеется ряд закономерностей в изменении состава, мощности и строения угольных пластов во времени, по эпохам угленакопления [22].

### **Происхождение микрокомпонентов углей**

Некоторые мацералы (микрокомпоненты) углей представляют собой углефицированные растительные остатки, сохранившие в стадии битуминозных углей свою форму и (или) структуру. Битуминозные угли – витрен, кларен, дюрен, фюзен, дюрено-кларен, кларено-дюрен. Другие мацералы – это сильно измененный материал, растительное происхождение которого невозможно установить. Мацералы телинит и фюзинит, встречающиеся в виде углефицированных стенок клеток, принадлежат к сохранившимся, но углефицированным растительным остаткам. К ним же относится большинство мацералов группы липтинита. В отличие от них коллинит и макринит являются примерами мацералов, растительное происхождение которых нельзя определить из-за высокой степени дегградации.

Из трех крупных групп мацералов (витриниты, липтиниты и инертиниты) витриниты и липтиниты различаются по своему происхождению. Витриниты являются продуктом углефикации гуминовых веществ, образующихся в основном из лигнита и целлюлозы стенок клеток. Липтиниты происходят из растительных остатков с относительно высоким содержанием водорода, таких как спорополлеин, смолы, воски и жиры [40].

Химический состав и свойства составляющих уголь органических микрокомпонентов существенно изменяются в процессе метаморфизма.

Растительный материал углей всех эпох углеобразования характеризуется постоянством качественного химического состава (наличия углерода, водорода, азота, кислорода и серы) и лишь со сменой экологических сообществ и эволюции видов растений происходит количественное изменение их химического состава (процентное содержание углерода, водорода, азота, кислорода, серы). Это способствует при метаморфизме формированию разнообразных химико-технологических свойств углей различных генетических типов, выраженных через микрокомпонентный состав углей, то есть первое (наличие углерода,



водорода, азота, кислорода, серы) предопределяет формирование угольной массы вообще как горной породы, а второе (процентный состав химических элементов) – их свойства. Углеобразующие микрокомпоненты, как и минералы горных пород, повторяются в углях различного возраста и месторождений и имеют специфические физико-химические свойства, обусловленные генетическими факторами, а определенные количественные и качественные сочетания их формируют свойства генетических типов углей [46].

Необходимо подчеркнуть, что петрографический состав углей зависит от следующих обстоятельств: 1) экологических условий болота, в котором происходило отложение торфа, главным образом от уровня грунтовых вод, поступления кислорода, кислотности среды и влияния моря; 2) климата в период отложения торфа; 3) сообществ торфообразующих растений, зависящих в свою очередь от экологии и климата; степени углефикации [40].

Эволюция во времени указанных первичных факторов углеобразовательного процесса обусловила эволюцию петрографического состава углей. Влияние вторичных факторов (метаморфизма) почти не отражается на содержании в угле отдельных микрокомпонентов, но приводит к существенным изменениям их свойств.

### **Некоторые сведения о происхождении углей**

Изучение происхождения, то есть генезиса углей, имеет целью познание сущности процесса углеобразования и выявление естественно-исторических факторов, обусловивших формирование углей и их свойств.

Для углеобразования необходимы следующие благоприятствующие этому предпосылки:

1. Фитологические, то есть развитие растительности. Они создают возможность накопления исходного вещества.

2. Климатические, обеспечивающие масштабы жизнедеятельности и характер растительного сообщества для углеобразования. В соответствии с климатическими условиями разные геологические эпохи углеобразования различались и растительным материалом. Так, в карбоновый период с жарким и влажным климатом произрастали преимущественно споровые и семенные папоротниковые растения. Меловой период характеризовался развитием хвойных, саговых и других голосемянных растений. В третичном периоде (неогеновом, палеогеновом по современной хроностратиграфии) развивались виды растений, близкие к современным.

3. Геоморфологические (ландшафтные), обеспечивающие сохранение накопившегося массива исходного углеобразующего вещества.

4. Тектонические, создающие медленными вертикальными движениями первоначальную обстановку опускания (погружения) и захоронения скоплений органического вещества [4, 50, 51].

Ископаемые угли – это, по существу, органогенные (биогенные) осадочные горные породы. Происхождение месторождений угля осуществлялось за счет остатков отмирающих растений в процессе сложных био- и геохимических превращений их веществ в условиях болот и озёр. Таким образом, место, характер скопления и превращение горючей биомассы определяются одновременным воздействием физико-географических, биологических и геологических групп факторов.

Высшие растения были представлены древесной растительностью с листьями, стеблями; низшие – водорослями без листьев и корней. Высшие растения служили источниками образования торфа с последующим формированием гумуса, низшие – образовывали сапропель (гнилостный ил). Те и другие в соответствии с двумя классами растений (высших и низших) явились предшественниками образования двух генетических классов углей соответственно гумусовых (гумитов, гумолитов) и сапропелевых (сапропелитов). Торфяные залежи резко преобладали и представляли собой будущие пласты бурого и затем каменного угля с крупными запасами [14], сапропели образовывали мизерные количества и представляли собой будущие пласты сапропелевых углей.

Образование углей начинается с момента накопления растительных остатков. В условиях высокой влажности и застойных вод, при которых доступ кислорода воздуха затруднён (анаэробные условия), отмершие растения постепенно накапливаются, образуя торфяник либо





сапропель. В большинстве случаев поверхность отложения торфяной массы совпадала с уровнем вод или находилась ниже последней (торфяники с открытым зеркалом вод) [52].

### **Происхождение гумусовых углей**

Происхождение гумусовых углей – длительный процесс. Он начинается с аккумуляции (накопления) растительного материала высших растений с последующим его разложением и превращением в торф [6] до покрытия торфяника осадками кровли. Формирование углей из высших растений происходит в три стадии (периода). Первая – торфяная (биохимическая) – охватывает процессы превращения растительных веществ (трав, полукустарников, древесных пород) в торф (оторфованье) под влиянием деятельности микроорганизмов в условиях повышенной влажности и затруднённого доступа воздуха. Формирование строения и мощности угольных пластов осуществляется на стадии образования торфяника. Торф мы можем рассматривать как уголь, находящийся ещё в периоде своего образования; он представляет «сильно обводнённый конгломерат битумов, гуминовых кислот, их солей, различных других продуктов разложения растительного материала и не успевших ещё разложиться форменных элементов растений (листья, стебельки, корни)» [53].

Вторая стадия формирования углей – углефикация – представляет собой процессы преобразования торфа в бурый уголь в условиях перекрытия его кровли осадками, преимущественно глинистыми при диагенезе и катагенезе осадков; третья стадия – тоже углефикация с преобразованием бурого угля в каменный уголь и антрацит в условиях метаморфизма.

Ископаемый уголь представляет собой природный концентрат различных органических соединений углерода, образующих органическую массу угля.

### **Процессы торфообразования**

Торф – это горючее ископаемое, представляющее собой первую стадию превращения растительного материала по пути его преобразования в уголь. Образование торфа происходит при подъёме уровня подземных вод без доступа воздуха (в анаэробных условиях) в болотистой равнинной водной среде [20]. Процесс оторфованья растительного материала является процессом медленного и неполного окисления его за счёт кислорода, который содержится в самом растительном материале.

Торф – это болотные остатки отмерших высших растений, подвергшиеся неполному разложению в условиях повышенной влажности и затруднённого доступа воздуха. Основные структурные преобразования исходного растительного материала завершаются в период его кратковременного (4-7 лет) пребывания в пределах торфяного слоя. Цвет торфа от желтовато-коричневого до чёрно-серого. Его структура волокнистая до аморфной, текстура неслоистая, влажность 75-90%, пористость до 70-80%.

В естественном залегании основной средой торфообразования является вода. Сухой торф состоит из трёх основных групп компонентов: 1 – остатков растений, сохранивших анатомическое строение, называемых форменными элементами; 2 – органического вещества (ОВ), утратившего анатомическое строение растений, называемого гумусом; это аморфная, иногда пластическая масса, представляющая собой продукт глубокого изменения растительного материала; 3 – из минеральных веществ, привнесённых в процессе седиментогенеза (осадконакопления).

Поскольку образование гумуса обусловлено деятельностью микроорганизмов, то торфяную стадию называют биохимической гумификацией.

По содержанию гумуса в торфе определяют степень его разложения и различают торфы низкой степени разложения (до 20%), средней (20-30%) и высокой (более 35%).

Гумус – это смесь соединений, обладающая биохимической стойкостью и сочетающая в себе соединения исходной растительности, продуктов её распада и продуктов микробиологического и биохимического синтеза [7].

В торфе одновременно присутствуют как продукты разложения, не сохранившие продукты анатомического строения растений, так и растительные ткани, едва затронутые последующими



изменениями. Значительная часть анатомического строения тканей растений разрушается в результате деструктивного окисления и деструктивной гумификации (микробиологического разложения) органического вещества растительных и животных остатков во влажной среде и при затруднённом доступе кислорода. Оставшиеся в торфе отмершие ткани растений представляют сложный лабиринт анатомических структур, состоящих из более или менее изменённых органических веществ (ОВ) неодинаковой устойчивости и продуктов превращения деструктивного исходного материала [43].

Таким образом, торф представляет собой сложную, подвижную многокомпонентную систему, состоящую из твёрдых, жидких и газообразных элементов. Твёрдая компонента торфа состоит из слаборазложившихся и неразложившихся растительных остатков болотных растений, гумуса и минеральных частиц. Она представляет собой полидисперсную систему с размерами частиц от нескольких сантиметров до долей микрона [54].

По мере увеличения степени разложенности торф изменяет свою структуру от губчатой, спуганно-волокнистой или грубоволокнистой к тонкозернистой и комковатой. В этом направлении происходит снижение его влажности и увеличение плотности скелета.

Микроскопическими исследованиями установлено, что уголь содержит те же составные части, что и торф. Торф и уголь состоят из более или менее однородной массы, в которую включены сохранившие свою форму частицы, доказывающие их растительное происхождение.

Часто в угольном пласте даже невооружённым глазом можно обнаружить остатки частей растений и древесной коры. В кровле угольных пластов встречаются растительные остатки в виде отпечатков листьев, кусков коры и других частей растений.

В девоне растения впервые образовали настоящий торф. Самый древний возраст углей – кембрийский; промышленная угленосность в бывшем СССР относится к раннедевонскому возрасту (~300 млн лет тому назад).

Современные торфы имеют много общего с бурыми углями с точки зрения микрокомпонентного состава. Они похожи на бурые угли также типологически. Встречающиеся среди них аналоги петрографических типов бурых углей, как правило, отличаются только меньшей степенью гомогенизации остатков растительных тканей и, соответственно, меньшей степенью уплотнения органического вещества. Близко аналогичны микрофотографии торфов и бурых углей сходных микроструктур [55].

Основным признаком, отличающим бурые угли от торфов, является отсутствие в бурых углях углеводов, в частности целлюлозы. В их составе имеются в значительных количествах карбоновые кислоты, которые сообщают им явно кислотный характер и способность растворяться в слабых щелочах. Каменные угли, в отличие от бурых, не содержат таких кислот и относятся поэтому к веществам нейтрального характера, неспособным растворяться в водных щелочах [46].

Карбоновые кислоты – это органические соединения, содержащие одну или несколько карбоксильных групп  $\text{COOH}$ . Получают карбоновые кислоты, например, окислением углеводородов.

Выделяют следующие процессы торфообразования, то есть изменения исходного материала растительных остатков [16].

1. Гелификация – это процесс превращения главным образом лигнитно-целлюлозной части вещества исходного растительного материала в бесструктурную массу с прохождением стадий набухания, растворения или пептизации и химического преобразования с участием биоферментов и последующей коагуляции (застудневания в виде геля).

Поясним некоторые упомянутые термины.

Лигниты – незначительно углефицированные ископаемые древесины (главным образом хвойных), встречающиеся в пластах бурых углей и сопровождающих пород. Некоторые исследователи считают, что лигниты – это бурые угли (преимущественно кайнозойского возраста), содержащие большие количества слабо разложившихся древесных остатков.

Целлюлоза (клетчатка) [Cellula – клетка] – углевод из категории высших полисахаридов (главная основа клеточных стенок большинства растений, обеспечивающая механическую прочность тканей). Состав  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ , где  $n$  выражается величинами порядка многих тысяч.



При гидролизе расщепляется с образованием  $n$ -молекул глюкозы ( $C_6H_{12}O_6$ ). В условиях посмертного разложения остатков организмов целлюлоза, как и другие углеводы, в основном быстро разрушается [17].

Гелификация (с образованием геля) происходит в анаэробных условиях (без доступа кислорода) в застойных болотах с уровнем грунтовых вод выше торфяника. Гель может быть порошковатый, хлопьевидный, студневидный. В процессах гелификации активную роль играют анаэробные микроорганизмы, то есть развивающиеся в условиях отсутствия кислорода.

Процесс гелификации лежит в основе образования бесструктурной так называемой витренизированной массы. Структурный витрен образовался, по-видимому, путём гетерогенного химического перерождения стенок клеток с сохранением клеточной структуры.

2. Фюзенизация – преобразование лигнито-целлюлозных тканей, а также продуктов их первичной гелификации в окислительной среде при осушении торфяника в сухих болотах при временном контакте с атмосферой. Процесс фюзенизации происходит с участием аэробных микроорганизмов [6]. Внешне фюзенизация отмечается в почернении и обугливание растительного материала. Происходит в той или иной мере обугливание стенок клеток. При этом процессе лигнин и целлюлоза превращаются в необратимый твёрдый коллоид – фюзен [4]. Под микроскопом в нём наблюдается клеточная структура.

3. Элювиация (элювация) – это процесс вымывания растворимых в воде исходных веществ и продуктов деструкции в условиях слабопроточных болот. Он приводит к относительному обогащению преобразуемой растительной массы неподдающимися коллоидному и окислительному разложению остатками частей растений. Они представляли собой оболочки листьев – кутикула, споры, семена, смоляные тела, выделяемые под названием «липоидные компоненты» (основа образования липтобиолитовых углей).

4. Иллювиация – привнос легкорастворимых гуминовых веществ в виде золь из верхних зон торфяника в нижележащие слои или по площади с током проточных вод. В результате иллювиации преобразуемая масса обогащается гелифицированным бесструктурным веществом.

Указанные процессы могли происходить в одном и том же торфянике, в результате чего пласты углей характеризуются сложным петрографическим составом.

При торфообразовании за счёт отмирания высших растений (со стеблями или листьями), обитавших на суше, образуется, как уже отмечалось, гумус с содержанием углерода 55-65%. Это сложный агрегат темноокрашенных аморфных продуктов преимущественно биохимического разложения отмерших остатков растительных организмов, их лигнито-целлюлозных тканей [17]. Процентное содержание гумуса определяет степень разложения торфа.

Различные соединения, входящие в состав растений, после их отмирания подвергаются постепенному разрушению и переходят в более устойчивые соединения. Кислород органической массы растений стремится перейти в угольную кислоту, а водород – в метан [20].

*Гумификация* – биохимический процесс разложения органического вещества высших растений, происходящий в топях болотах при достаточной влажности и ограниченном доступе кислорода. При этом образуются гуминовые кислоты, превращающиеся в гуминовые вещества [6, 56].

Процесс углеобразования биохимической природы в торфянике обычно называют стадией гумификации органической массы. Гумус торфа является аналогом основной массы ископаемых углей и состоит главным образом из аттрита гелифицированных тканей и в значительной мере из продуктов коагуляции гуминовых кислот [55].

*Аттри́т* – скопление мельчайших обрывков растительных остатков (древесины, пыльцы, спор, кутикулы, смоляных телец и других частей и органов растений), измельчённых истиранием при переносе и разложении (входит в состав торфа, угля и других осадочных пород) [17].

Превращение растительных остатков в торф связано с повышением содержания углерода и понижением содержания кислорода в органической массе; эта же тенденция сохраняется и дальше, при переходе от торфа к бурым и каменным углям. Характерная особенность процесса



торфообразования – накопление гуминовых кислот при биохимическом разложении растительных остатков [7].

Главной составной частью гуминовых кислот торфа является гумусовая кислота: её содержание не менее 60% всего количества гуминовых кислот.

Элементарный состав гумусовой кислоты: 57,5-64,2% углерода, 4,3-5,4% водорода, 29-34% кислорода и до 4% азота.

### Процессы углеобразования

Из гумусовых веществ (производных торфа) и сапропеля (гнилостного ила) образование ископаемых углей происходит под влиянием последующих процессов углефикации (обуглероживания) – диагенеза, катагенеза и затем метаморфизма (табл. 15).

Таблица 15. Стадии и подстадии превращения пород, вмещающих уголь, и органического углеобразующего вещества

Table 15. Stages and substages of transformation of coal-bearing rocks and organic carbon-forming substance

Стадии и подстадии							
Пород, вмещающих уголь			Органического углеобразующего вещества				
Седиментогенез			Торф, сапропель	Эмбриогенез		Гумификация	
Диагенез			Лигнит, бурый уголь мягкий, землистый (Б <sub>1</sub> )	Диагенез			
Литогенез	Катагенез	ранний	Бурые угли твердые: матовые (Б <sub>2</sub> ), блестящие (Б <sub>3</sub> )	Ранний	Катагенез		Углефикация
		средний	Каменные угли: длиннопламенные (Д), газовые (Г), жирные (Ж)	Поздний			
		поздний	Жирные коксовые (КЖ), коксовые (К), отощенные спекающиеся (ОС)	Ранний	Ранний (метагенез)		
	Метагенез	ранний	Тощие (Т)	Поздний	Средний	Метаморфизм	
			Полуантрациты (ПА), антрациты (А)	Ранний			
		поздний		Поздний			
Метаморфизм			Графит		Поздний (ультра-метаморфизм)	Графитизация	

Диагенез – литификация (окаменение) осадков – песков, глин и других и превращение их в горные породы – песчаники, аргиллиты и т.п. под воздействием давления перекрывающих осадков и температуры недр Земли. Начало процесса диагенеза происходит в условиях перехода торфяника, продуцируемого им гумуса в и с копаемое состояние, то есть после перекрытия (захоронения) их осадками, превращающимися в горные породы. Углефикация осуществляется при диагенезе на небольшой глубине под влиянием геологических факторов – давления перекрывающих пород, а затем и температуры недр Земли [41, 57].

В процессе диагенеза в условиях захоронения в горных породах и нарастающих давления и температуры растительные остатки торфа постепенно прекращают претерпевать сложные химические и биохимические превращения, происходит уплотнение, дегидратация (обезвоживание) указанного углефицируемого материала. В торфяных залежах лигнита



целлюлозные ткани растений разрушаются, измельчаются, теряют первоначальную клеточную структуру, превращаясь в гумусовое вещество торфа [58].

Увеличивается роль геохимических факторов углеобразования. Разложение органического вещества при диагенезе сопровождается образованием больших количеств реакционно-способных веществ: низко- и высокомолекулярных кислот, соединений различных углеводов, углекислого газа, аммиака, сероводорода. Преобразующийся растительный материал в диагенезе обогащается углеродом за счёт потери водорода и кислорода [58].

Превращение торфа в ископаемые угли протекало после покрытия торфяника минеральными осадками, которые выпадали из вод, периодически заливавших низменные части материков. В зависимости от условий (степени солоноватости вод, глубины водоёмов и возможности аэрации) развивали свою деятельность аэробные (в присутствии кислорода) или анаэробные (при отсутствии кислорода) микроорганизмы. Анаэробные микроорганизмы при наличии питательной среды обычно не прекращают своей деятельности и после покрытия угольных пластов отложениями большой мощности.

В конечном итоге все превращения стадии диагенеза приводят к увеличению содержания углерода и уменьшению количества кислорода. Этот процесс можно рассматривать как восстановительный. Превращение торфа в уголь и дальнейшие изменения этого угля называют углефикацией или обуглероживанием. Свойства твёрдых горючих ископаемых определяются не только особенностями исходного растительного материала и степенью метаморфизма, но зависят также и от условий его накопления и химического характера среды разложения. Поэтому при равной степени углефикации угли могут иметь различные свойства. Протекание реакций восстановления в условиях накопления в значительной степени определяет степень восстановленности угольного вещества, а тем самым и его технологические свойства. Так, угли «более восстановленные» всегда лучше спекаются, чем угли «менее восстановленные» той же степени углефикации [25].

Таким образом, диагенез означает «перерождение» или преобразование указанных органических веществ торфа с постепенным уплотнением, дегидратацией и превращением их в осадочные породы, отвечающие по составу бурым землистым углям. С диагенезом под давлением минеральной кровли перекрывающих торф пород связывается дегидратация коллоидного вещества, возрастание плотности, повышение содержания углерода, понижение кислорода и водорода, то есть превращение торфа в бурый уголь [6, 46]. На стадии бурых углей остатки лигнита и целлюлозы переходят в гумусовое вещество, а гуминовые кислоты, конденсируясь, теряют кислотные свойства.

Петрографическое изменение угля при усилении диагенетических процессов выражается в неуклонной гомогенизации вещества, усилении блеска, а в связи с этим – в увеличении отражательной способности почти всех компонентов.

Поскольку переход торфа в бурый уголь при диагенезе происходит постепенно, трудно установить чёткую границу между ними. Обычно граница между торфом и бурым углем достигает 200-400 м [40]; по данным В.В. Гречухина [59], для такого преобразования достаточно погружения торфа на глубину 20-25 м. Эта глубина соответствует верхней границе образования бурых углей, а нижняя располагается на глубине 1800-2000 м.

Процесс углефикации – постепенного превращения торфа в бурые (а затем и каменные) угли инициируется прежде всего повышением температуры в недрах Земли до 150-200 °С и временем, в течение которого происходит это повышение. Давление замедляет химические реакции при углефикации. О роли температуры свидетельствует, в частности, тот факт, что при нагревании растительных остатков в замкнутом сосуде под высоким давлением получены бурые и каменные угли [20].

Следующие за диагенезом катагенез и метаморфизм бурых углей обуславливают их преобразование в каменные угли (табл. 15).

*Катагенез* – определённая стадия изменения осадочных пород и вмещаемых ими углей. Она характеризуется их дальнейшим уплотнением под влиянием усиливающегося давления, преобразованием в условиях нарастания температуры недр Земли. Для стадии катагенеза характерны нормальные – неметаморфизованные осадочные горные породы – плотные и





крепкие песчаники и алевролиты, аргиллиты. При катагенезе идёт преобразование бурых землистых углей в плотные бурые угли, а затем и в каменные [8, 17, 60].

Граница между диагенезом и следующей стадией литификации осадочных пород – катагенезом проводится по линии, разделяющей бурые землистые угли  $B_1$  и плотные блестящие бурые угли  $B_{2-3}$  [61].

На стадии катагенеза в каменных углях органическая масса характеризуется нейтральным характером и высокой степенью обуглероженности (78-95% углерода), содержание водорода составляет 3,5-6%. Органическое вещество углей на этой стадии не реагирует со слабыми щелочами ни в обычных условиях, ни под давлением. Это свидетельствует о полном отсутствии гуминовых кислот. Эти угли обладают малой гигроскопичностью. Завершается процесс катагенеза при метаморфизме одновременно с превращением вмещающих углей осадочных горных пород в метаморфизованные (кварцитопесчаники, кварцитовидные песчаники, глинистые сланцы...).

В советской и иностранной литературе преобразование органического вещества в углях на стадии ката- и метагенеза (метаморфизма) принято называть метаморфизмом угля [62].

Для образования каменного угля из бурого требуется большое давление и температура порядка 300°C. Поэтому каменный уголь образуется обычно при наличии мощной (сотни метров и более) кровли пород [9].

Для первого этапа метаморфизма углей, среди его продуктов деструкции очень велика роль  $CO_2$  [58]. Затем при образовании каменных углей преобладает выделение метана [63]. Высшей степенью углефикации (метаморфизма) каменных углей является антрацит, образующийся при температуре около 500°C [5].

Метаморфизм каменных углей и антрацита характеризуется химическим преобразованием полимерной угольной структуры с дальнейшим накоплением углерода в форме конденсированных ароматических слоёв. Из химических факторов метаморфизма углей наиболее важным является температура, возрастание которой с глубиной оценивается средним температурным градиентом 3-5°C на каждые 100 м.

Первыми углеобразователями были, по всей вероятности, низшие растения, поэтому твёрдые горючие ископаемые протерозойских и рифейских отложений по своему облику и составу больше подходят к сапропелитам [46].

В геологической истории Земли образование гумусовых углей началось только с девонского времени, когда растительный мир стал завоёвывать сушу. Эволюция наземной растительности и разнообразие обстановок углеобразования отразились в первую очередь в петрографическом составе углей. Так, девонские угли представлены главным образом кутикуловыми липоидолитами.

Среди нижнекарбонových углей большое развитие получили микстогумолиты (кларено-дюреновые и дюреновые угли). В меньшей мере в них развиты споровые липоидолиты и фюзенолиты, а типичные гелитолиты имеют значительно меньшее распространение. Для углей данной эпохи характерно широкое развитие массивных оболочек микро- и макроспор. Содержание лейптинита в среднепластовых пробах нередко достигает 20-30%, а витринита редко превышает 50-65%.

В угольных пластах нижнего карбона, как правило, встречаются прослои и линзы гумуса-сапропелевых и сапропелевых углей (Подмосковный и Львовско-Волынский бассейны).

В эпоху среднего и верхнего карбона произошло обособление двух различных флористических провинций – вестфальской и тунгусской. Угли вестфальской провинции характеризуются широким развитием гелитолитов, образовавшихся в результате анаэробного разложения лигнитно-целлюлозных, главным образом стеблевых тканей. Содержание лейптинита в них колеблется от 5 до 15%, а фюзенита редко превышает 10-12% (Донецкий бассейн). В основном они сложены витринитом. Угли тунгусской провинции обычно отличаются низким, не более 1-2%, содержанием лейптинита и высоким содержанием фюзинита, нередко более 30-40% (Кузнецкий и Тунгусский бассейны).

Накопление нижнепермских углей происходило в основном за счёт древесины кордаитов и протекало в ряде случаев в условиях слабообводнённых лесных торфяников, что



способствовало интенсивной фюзенизации растительных тканей. Содержание компонентов группы фюзинита в отдельных случаях достигает 50-60%. Обычно наблюдается чередование фюзеновых кларенов с типичными фюзенолитами. Наименьшим содержанием фюзенолитов отличаются пласты угля Печорского бассейна. Содержание фюзинита в них самое низкое из всех нижнепермских углей (нередко ниже 20%), а лейптинита – не превышает 1-2%.

Верхнепермские угли существенно отличаются по исходному материалу и условиям накопления от нижнепермских. В них преобладают гелитолиты с различным соотношением остатков стеблевых и листовых тканей. Наиболее распространённым лейптинитовым микрокомпонентом этих углей является кутинит (от кутикулы – тонкой бесструктурной плёнки, покрывающей эпидерму листьев и растений), хотя его содержание в среднепластовых пробах редко превышает 2-3%. Основным микрокомпонентом, слагающим верхнепермские угли, является витринит. Его содержание превышает 75-85%.

Происхождение липтобиолитовых углей. Происхождение этих углей следует «приписывать» процессу элювиации, то есть интенсивному бактериальному разложению в условиях пониженного, но все же постоянного доступа кислорода и уноса получающихся вследствие окисления лигнитно-целлюлозного материала гуминовых кислот. В результате вымывания гумусового вещества проточной водой в остатке накапливаются преимущественно жёлтые форменные элементы. Накоплению последних могут способствовать ветер и другие факторы. Но таким способом образования нельзя объяснить преобладание матовых споровых дюренов и липтобиолитов, например, в месторождениях западного склона Урала. Здесь преобладание непрозрачной «остаточной» массы над прозрачной ясно указывает на процесс глубокого разложения высших растений.

Для барзасского липтобиолита (Кузбасс) предполагается, что стебли растений, послужившие для его образования, были снесены в спокойный водоём, может быть, в морской лиман. На подобный тип накопления указывают значительная зольность барзасских углей, слоистое распределение минеральных примесей и постоянно наблюдаемое переслаивание угля с глинистым веществом. При бактериальном разрушении растительного вещества сохранились лишь стойкие его части [16].

### **Происхождение сапропелевых углей (сапропелитов)**

Ранее отмечалось, что типичными представителями сапропелитов являются богхеды – матовые, однородные, неслоистые с раковистым изломом угли. Они образуются в водоёмах, в которых развивается планктон, состоящий существенно из немногих видов водорослей, то есть в озёрах и прудах. Главная масса угля обязана накоплению этих водорослей, которые, отмирая, падали на дно, увлекая за собой гуминовый студень, выпадавший из стоячих бурых вод под влиянием солей глинозёма, растворённых в воде. Вместе с водорослями на дно этого «зацветавшего» водоема падали остатки и других планктонных организмов, насекомых, мелких рачков и рыб, а также приносимые ветром споры, микроспоры растений, принесённый неорганический материал. Вся эта масса на дне водоёма, перемешиваясь с минеральными частицами, образовывала при участии анаэробных бактерий пелитовый гнилостный ил (сапропель) [10, 20].

В сапропель были превращены богатые жирами и белками слоевища водорослей. Сапропель представлял собой тёмную органическую студневидную желеобразную слизистую полужидкую массу. Органические составляющие сапропеля – животные остатки, следы жизнедеятельности животных и сине-зелёные и диатомовые водоросли – претерпевают в нём постепенное разложение.

Сапропель легко отличается от торфа не только внешними физическими признаками, но и своими химическими реакциями. Особенно эта разница проявляется при сухой перегонке обоих видов органического вещества. В результате перегонки из сапропеля получается густая маслянистая жидкость (дёготь), тогда как дёготь из торфа – более жидкой консистенции. Количество дёгтя из сапропеля в несколько раз превышает количество такового из торфа.



Таблица 16. Генетическая классификация ископаемых углей (по [16])  
Table 16. Genetic classification of fossil coals (according to [16])

Группа	Исходный материал	Класс, подкласс	Остатки растений, сохранившиеся в угле, и продукты их изменения	Среда отложения и накопления (фация)
Гумолиты	Высшие растения (древесные, кустарниковые, травяные и др.)	Гумитолиты	гелитолиты	Гелифицированные остатки растительных тканей: сохранившие структуру и бесструктурные; бесструктурное гелифицированное вещество
			фюзенолиты	Фюзенизированные остатки растительных тканей: сохранившие структуру и бесструктурные; бесструктурное фюзенизированное вещество
			микстолиты	Агрегат гелифицированных и фюзенизированных растительных тканей, липоидных компонентов и др.
			липоидолиты	Кутикула, споры, смоляные тела, суперинизированные коровые ткани, гелифицированное и фюзенизированное вещество
		Липтобиолиты	Кутикула, суперинизированные коровые ткани, смола, споры, гелифицированное вещество	Изолированные и проточные низинные болота
Сапрогумолиты	Высшие и низшие растения	Сапро-гумитолиты	Остатки водорослей в гумусовой или смешанной основной массе, остатки растительных тканей, споры, кутикулы	Низинное застойное торфяное болото с открытым водным зеркалом (озеро, лагуна)
		Гумито-сапропелиты		
Сапропелиты	Низшие растения (водоросли и др.)	Собственно сапропелиты	Преимущественно продукты превращения водорослей	Озеро (открытый водоем в болоте) пресное или соленое, лагуна

Содержание органического вещества в сапропеле (гнилостном иле) не менее 15%. Белки и жиры низших растений превращаются в анаэробных условиях (без доступа воздуха) в жирные кислоты – битум, происходит процесс битуминизации [10].

По мере уплотнения и старения коллоидной системы сапропеля в течение геологических периодов в ней начинаются процессы расслаивания, приводящие к выделению жидких продуктов (углеводородов) из общей массы; эти жидкие продукты скапливаются в виде конкреций или же в виде тонких слоёв. Таким путём образовались сапропелитовые угли [5].



В отличие от гумусовых, сапропелевые угли (богхед, кеннельский уголь) не проходили биохимическую стадию гумификации в торфяниках. Органическая масса сапропелей накапливалась из отмирающего планктона и водорослей и химически преобразовывалась в анаэробных условиях на дне глубоких водоёмов, то есть претерпевала битуминизацию.

### Генетическая классификация углей

В основе генетической классификации углей находятся условия их образования и состав исходного растительного материала. Основные генетические группы углей по их происхождению по современной классификации: гумусовые угли (гумолиты), образовавшиеся из остатков высших растений, преимущественно из водорослей, и переходная группа углей – сапрогумолиты [13, 16, 20].

*Гумолиты.* В балансе установленных разведанных запасов и прогнозных ресурсов преобладают угли гумусовые (гумолиты). На них базируется современная угольная промышленность. Сапропелевые угли составляют лишь доли процента от общих запасов твердых горючих ископаемых.

Генетическая группа гумусовых (гумолитовых) углей подразделяется на два класса – класс гумитолитов (гумитов) и класс липтобиолитов.

Гумитолиты (гумиты) – самые распространенные угли в природе. Они образовались главным образом в результате преобразования лигнит-целлюлозных тканей высших растений. В составе гумитолитов имеют место различные стратиграфические типы углей (витрен, кларен, дюрен, фюзен, дюрено-кларен, кларено-дюрен), характеризующиеся преобладанием растительных остатков, то потерявших в процессе превращений свою структуру, то имеющих довольно отчетливое строение [20].

*Липтобиолиты.* Распространение этих каменных углей весьма ограничено. Они представляют больше теоретический чем практический интерес, залегают обычно прослойками среди гумитов и только как исключение встречаются в виде отдельных залежей. Липтобиолиты (лейптос – оставшийся, остаточный) состоят преимущественно (до 90%) из наиболее стойких частей (форменных элементов) высших растений (пробковой части коры и др.) [17]. Накопление химически стойких веществ может иметь место в случае, если неустойчивые части растений – лигнито-целлюлозные ткани – будут полностью разрушены. Это может произойти тогда, когда уровень грунтовых вод резко понизится, а верхняя часть торфяника окажется в воздушной среде. При этом лигнито-целлюлозные ткани, как устойчивые, в верхней части торфяника разложатся и останутся только химически стойкие вещества, из которых образуются липтобиолиты.

### Список источников

1. Петрология палеозойских углей СССР // М.: Недра. – 1975. – 215 с.
2. Методы формационного анализа угленосных толщ // М.: Недра. – 1975. – 200 с.
3. Левинсон-Лессинг, Ф.Ю. Избранные труды // М., 1955. – Т. IV. – 315 с.
4. Основы геологии горючих ископаемых // М.: Недра. – 1987. – 260 с.
5. Жемчужников, Ю.А. Общая геология ископаемых углей // М.: Углетехиздат. – 1948. – 490 с.
6. Черноусов, Я.М. Курс общей геологии угольных месторождений // М.: Госнаучтехиздат. – 1962. – 325 с.
7. Камнева, А.И. Теоретические основы химической технологии горючих ископаемых / А.И. Камнева, В.В. Платонов // М.: Химия. – 1990. – 288 с.
8. Тайц, Е.М. Окислованное топливо и адсорбенты на основе бурых углей / Е.М. Тайц, И.А. Андреева, Л.И. Антонова // М.: Недра. – 1985. – 160 с.
9. Миловский, А.В. Минералогия и петрография // М.: Недра. – 1985. – 439 с.
10. Зубков, В.В. Краткий курс общей петрографии // М.: – 1956. – 255 с.
11. Кизильштейн, Л.Я. Атлас микрокомпонентов и петрографических типов антрацитов / Л.Я. Кизильштейн, А.Л. Шпицглюз // Ростов н/Д. – 1998. – 254 с.
12. Богданова, Л.А. Преобразование углей в зонах термального воздействия интрузий // Угленосные формации и петрология углей: Сб. науч. ст. – Л.: ВСЕГЕИ. – 1985. – С. 115-123.



13. Еремин, И.В. Марочный состав углей и их рациональное использование: Справочник / И.В. Еремин, Т.М. Броновец // М.: Недра. – 1994. – 187 с.
14. Голицын, М.В. Все об угле / М.В. Голицын, А.М. Голицын // М.: Наука. – 1989. – 192 с.
15. Вялов, В.И. Антрациты России и мира: справочник / В.И. Вялов, М.В. Голицын, А.М. Голицын // М.: Недра. – 1998. – 244 с.
16. Жемчужников, Ю.А. Основы петрологии углей / Ю.А. Жемчужников, А.И. Гинзбург // М.: изд-во АН СССР. – 1960. – 290 с.
17. Геологический словарь // М.: Недра. – 1978. – 940 с.
18. Травин, А.В. Атлас верхнепалеозойских углей Кузнецкого бассейна / А.В. Травин, Э.М. Сендерзон, В.П. Шорин [и др.] // Новосибирск: Наука. – 1966. – 367 с.
19. Такранов, Р.А. Геологические работы на угольных карьерах // М.: Недра. – 1975. – 296 с.
20. Пельдяков, И.С. Геология месторождений ископаемых углей // М.: Углетехиздат. – 1954. – 310 с.
21. Августевич, И.В. Аналитическая химия и технический анализ угля : Учеб. для горн. техникумов / И.В. Августевич, Т.М. Броновец, И.В. Еремин [и др.] // М.: Недра. – 1987. – 335 с.
22. Волкова, И.Б. Органическая петрология // М.: Недра. – 1990. – 299 с.
23. Бодоев, Н.В. Сапропелитовые угли // Новосибирск: Наука. – 1991. – 120 с.
24. Аммосов, И.И. Петрографические особенности и свойства углей / И.И. Аммосов, И.В. Еремин, Н.И. Бабинков [и др.] // М.: Изд-во АН СССР. – 1963. – 380 с.
25. Агроскин, А.А. Химия и технология угля // М.: Недра. – 1969. – 240 с.
26. Методы изучения осадочных пород // М.: Госнаучтехиздат. – 1957. – Т. 3. – 562 с.
27. Кравцов, А.И. Основы геологии горючих ископаемых // М.: Высшая школа. – 1982. – 424 с.
28. Кондаков, А.Н. Минеральные ресурсы недр Кемеровской области. Кн. 2: Неметаллические твердые полезные ископаемые / А.Н. Кондаков, А.А. Возная // Кемерово : Изд-во КузГТУ. – 2016. – 496 с.
29. Петрографические типы углей СССР // М.: Недра. – 1975. – 248 с.
30. Юдович, Я.Э. Геохимия ископаемых углей (неорганические компоненты) // Л.: Наука. – 1978. – 264 с.
31. Арбузов, С.И. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Поцелуев, Л.П. Рихванов // Кемерово: изд-во КПК. – 2000. – 248 с.
32. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев // М.: Наука. – 1987. – 135 с.
33. Клер, В.Р. Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разведке угольных месторождений // М.: Недра. – 1979. – 272 с.
34. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения / [В. Р. Клер, В. Ф. Ненахова, Ф. Я. Сапрыкин и др.]; Отв. ред. Н. А. Созинов; АН СССР, Ин-т литосферы. – М.: Наука. – 1988. – 255 с.
35. Сапрыкин, Ф.Я. Геохимические особенности концентрации редких элементов в различных фациальных типах отложений угленосных формаций / Ф.Я. Сапрыкин, В.Ф. Клер, А.Ф. Кулачкова // Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука. – 1973. – С. 126-138.
36. Скурский, М.Д. Недра Забайкалья // Чита. – 1996. – 698 с.
37. Скурский, М.Д. Месторождения полезных ископаемых – спутники угольных, газозольных, нефтяных месторождений и бассейнов // Вестник РАЕН (Зап.-Сиб. отдел.). – Кемерово: изд-во КузГТУ. – 2002. – Вып. 5. – С. 218-222.
38. Китаев, И.В. Золотообразующие и малые элементы углей Дальнего Востока // Владивосток. – 1989. – 140 с.
39. Зарицкий, П.В. Минералогия и геохимия диагенеза угленосных отложений // Харьков: Изд-во Харьковского ун-та. – 1971. – 123 с.
40. Штах, Э. Петрология углей / Э. Штах, М.-Т. Маковски, М. Тейхмюллер, Г. Тейлор, Д. Чандра, Р. Тейхмюллер / Пер. с англ. Глушнева С. В., Дубровского В. В., Хасиной А. И. // М.: Мир. – 1978. – 554 с.
41. Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород / под ред. Г.А. Иванова // М.: Недра. – 1975. – 256 с.
42. Еремин, И.В. Петрография и физические свойства углей / И.В. Еремин, В.В. Лебедев, Д.А. Цикарев // М.: Недра. – 1980. – 263 с.
43. Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых // М.: Наука. – 1987. – 332 с.
44. Касаточкин, В.И. Строение и свойства природных углей / В.И. Касаточкин, Н.К. Ларина // М.: Недра. – 1975. – 159 с.
45. Месторождения полезных ископаемых // М.: Изд-во МГТУ. – 2001. – 570 с.





46. Бабенко, В.П. Вещественный состав углей СССР // Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та. – 1989. – 187 с.
47. Тимофеев, П.П. Генезис гумусовых углей и их классификация / П.П. Тимофеев, Л.И. Боголюбова, И.Э. Вальц // Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука. – 1973. – С. 139-162.
48. Гаврилова, О.И. Химические свойства микрокомпонентов углей / О.И. Гаврилова, Г.Л. Сцепинская // Угленосные формации и петрология углей: Сб. науч. ст. ВСЕГЕИ. – Л. – 1985. – С. 73-83.
49. Еремин, И.В. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса / И.В. Еремин, А.С. Арцер, Т.М. Броневец // Кемерово. – 2001. – 397 с.
50. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 12. Общие данные по угольным бассейнам и месторождениям СССР // М.: Недра. – 1978. – 530 с.
51. Рухин, Л.Б. Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Т.2. Осадочные породы / Л.Б. Рухин, Н.Б. Вассоевич, В.Н. Кобранова [и др.]. // Л.: Госгеолтопиздат. – 1958. – 520 с.
52. Волков, В.Н. Генетические основы морфологии угольных пластов // М.: Недра. – 1973. – 136 с.
53. Стадников, Г.Л. Происхождение углей и нефти // Л.: Госхимиздат. – 1933. – 221 с.
54. Щербак, Г.Г. Закономерности формирования инженерно-геологических условий угольных месторождений Восточной Сибири и их влияние на устойчивость бортов карьеров: дис. ... д-ра геол.-мин. наук // Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет. – 2002. – 445 с.
55. Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород // М.: Наука. – 1968. – 329 с.
56. Рык, В.С., Малишевская, А. Петрографический словарь // М.: Недра. – 1989. – 589 с.
57. Македонов, А.В. Типы торфонакопления, их пространственная и временная локализация в угленосных формациях / А.В. Македонов, И.Э. Вальц, И.М. Головенко // Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука. – 1973. – С. 42-52.
58. Богомолова, Л.И. Взаимосвязь соединений органического и минерального вещества угленосных формаций при литогенезе / Л.И. Богомолова, В.И. Копорулин // Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука. – 1973. – С. 96-103.
59. Гречухин, В.В. Геофизические методы исследований угольных скважин // М.: Недра. – 1965. – 488 с.
60. Логвиненко, Н.В. Состояние учения о формировании вещественного состава пород угленосных формаций / Н.В. Логвиненко, В.В. Воронцов, П.В. Зарицкий // Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука. – 1973. – С. 86-95.
61. Инженерная геология угольных месторождений Сибири и Дальнего Востока. Т. 1. Закономерности формирования инженерно-геологических условий угольных месторождений // Томск: Изд-во Томского ун-та. – 1991. – 288 с.
62. Левенштейн, Л.М. Особенности преобразования органического вещества на поздних стадиях литогенеза (катагенез и метагенез) / Л.М. Левенштейн, М.В. Голицын, Э.М. Пах // Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука. – 1973. – С. 105-112.
63. Кухаренко, Т.А. Окисленные в пластах бурые и каменные угли // М.: Недра. – 1972. – 216 с.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

#### **Информация об авторах**

**Скурский Михаил Данилович**, докт. техн. наук, профессор

e-mail: skurskymd@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Забайкальский государственный университет

Российская Федерация, Читинская область, 672039, г. Чита, улица Александрово-Заводская, дом 30



## ON THE MATERIAL COMPOSITION OF COALS

Mikhail D. Skursky<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University»

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Transbaikal State University»



### Article info

Received:

17 September 2021

Revised:

22 January 2022

Accepted:

29 January 2022

**Keywords:** coal, Kuzbass, petrography, vitrain, clarain, durain, fusain, material composition, macerals, humus coal, liptobiolite, ranks of coal

### Abstract.

Fossil coal is a solid combustible sedimentary rock of plant origin, containing mineral impurities (up to 50%) and occurring in the form of bedded deposits. Coal is a complex aggregate of various components, a complex heterogeneous mixture, rather than an individual organic or mineral substance. When studying the material (petrographic) composition of fossil coals, they visually distinguish with the naked eye macroscopically types, macrocomponents, petrographic types (ingredients or, in other words, lithotypes). Under the microscope in coals, they determine and study the organic matter – the formational elements and the basic mass, with which the microcomponents (macerals) of coal are composed. Macerals (microcomponents), or rather their combinations form microlithotypes. Inorganic microcomponents are also seen and studied under the microscope.

Types of humus coals are brown coals, hard coals, anthracites, and liptobiolites. Sapropelic coals are represented by sapropelites.

Knowledge of the petrographic (material) composition of coals is one of the necessary conditions for their rational use in the coking industry, power and municipal sector. This article provides information about the types of coals, the ingredients (lithotypes) of humus coals, mineral components of coal-bearing strata and coals, organic matter of coals. Some background about the origin of the coals is also given.

---

**For citation** Skursky M.D. (2022) On the material composition of coals, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 1(16):31. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-1-31-82

---

### References

1. Petrologiya paleozoyskikh ugley SSSR // M.: Nedra. – 1975. – 215 s.
2. Metody formatsionnogo analiza uglenosnykh tolshch // M.: Nedra. – 1975. – 200 s.
3. Levinson-Lessing, F.Yu. Izbrannye trudy // M., 1955. – T. IV. – 315 s.
4. Osnovy geologii goryuchikh iskopaemykh // M.: Nedra. – 1987. – 260 s.
5. Zhemchuzhnikov, Yu.A. Obshchaya geologiya iskopaemykh ugley // M.: Ugletekhizdat. – 1948. – 490 s.
6. Chernousov, Ya.M. Kurs obshchey geologii ugol'nykh mestorozhdeniy // M.: Gosnauchtekhizdat. – 1962. – 325 s.
7. Kamneva, A.I. Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii goryuchikh iskopaemykh / A.I. Kamneva, V.V. Platonov // M.: Khimiya. – 1990. – 288 s.
8. Tayts, E.M. Okuskovannoe toplivo i adsorbenty na osnove burykh ugley / E.M. Tayts, I.A. Andreeva, L.I. Antonova // M.: Nedra. – 1985. – 160 s.
9. Milovskiy, A.V. Mineralogiya i petrografiya // M.: Nedra. – 1985. – 439 s.
10. Zubkov, V.V. Kratkiy kurs obshchey petrografii // M.: – 1956. – 255 s.
11. Kizil'shteyn, L.Ya. Atlas mikrokomponentov i petrograficheskikh tipov antratsitov / L.Ya. Kizil'shteyn, A.L. Shpitsgluz // Rostov n/D. – 1998. – 254 s.
12. Bogdanova, L.A. Preobrazovanie ugley v zonakh termal'nogo vozdeystviya intruziy // Uglenosnye formatsii i petrologiya ugley: Sb. nauch. st. – L.: VSEGEI. – 1985. – S. 115-123.



13. Eremin, I.V. *Marochnyy sostav ugley i ikh ratsional'noe ispol'zovanie: Spravochnik* / I.V. Eremin, T.M. Bronovets // M.: Nedra. – 1994. – 187 s.
14. Golitsyn, M.V. *Vse ob ugle* / M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn // M.: Nauka. – 1989. – 192 s.
15. Vyalov, V.I. *Antratsity Rossii i mira: spravochnik* / V.I. Vyalov, M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn // M.: Nedra. – 1998. – 244 s.
16. Zhemchuzhnikov, Yu.A. *Osnovy petrologii ugley* / Yu.A. Zhemchuzhnikov, A.I. Ginzburg // M.: izd-vo AN SSSR. – 1960. – 290 s.
17. *Geologicheskii slovar'* // M.: Nedra. – 1978. – 940 s.
18. Travin, A.V. *Atlas verkhnepaleozoyskikh ugley Kuznetskogo basseyna* / A.V. Travin, E.M. Senderzon, V.P. Shorin [i dr.] // Novosibirsk: Nauka. – 1966. – 367 s.
19. Takranov, R.A. *Geologicheskie raboty na ugol'nykh kar'erakh* // M.: Nedra. – 1975. – 296 s.
20. Pel'dyakov, I.S. *Geologiya mestorozhdeniy iskopaemykh ugley* // M.: Ugletekhizdat. – 1954. – 310 s.
21. Avgushevich, I.V. *Analiticheskaya khimiya i tekhnicheskii analiz uglya : Ucheb. dlya gorn. tekhnikumov* / I.V. Avgushevich, T.M. Bronovets, I.V. Eremin [i dr.] // – M.: Nedra. – 1987. – 335 s.
22. Volkova, I.B. *Organicheskaya petrologiya* // M.: Nedra. – 1990. – 299 s.
23. Bodoev, N.V. *Sapropelitovye ugli* // Novosibirsk: Nauka. – 1991. – 120 s.
24. Ammosov, I.I. *Petrograficheskie osobennosti i svoystva ugley* / I.I. Ammosov, I.V. Eremin, N.I. Babinkov [i dr.] // M.: Izd-vo AN SSSR. – 1963. – 380 s.
25. Agroskin, A.A. *Khimiya i tekhnologiya uglya* // M.: Nedra. – 1969. – 240 s.
26. *Metody izucheniya osadochnykh porod* // M.: Gosnauchtekhizdat. – 1957. – T. 3. – 562 s.
27. Kravtsov, A.I. *Osnovy geologii goryuchikh iskopaemykh* // M.: Vysshaya shkola. – 1982. – 424 s.
28. Kondakov, A.N. *Mineral'nye resursy neдр Kemerovskoy oblasti. Kn. 2: Nemetallicheskie tverdye poleznye iskopaemye* / A.N. Kondakov, A.A. Voznaya // Kemerovo : Izd-vo KuzGTU. – 2016. – 496 s.
29. *Petrograficheskie tipy ugley SSSR* // M.: Nedra. – 197. – 248 s.
30. Yudovich, Ya.E. *Geokhimiya iskopaemykh ugley (neorganicheskie komponenty)* // L.: Nauka. – 1978. – 264 s.
31. Arbuzov, S.I. *Redkie elementy v uglyakh Kuznetskogo basseyna* / S.I. Arbuzov, V.V. Ershov, A.A. Potseluev, L.P. Rikhvanov // Kemerovo: izd-vo KPK. – 2000. – 248 s.
32. *Instruktsiya po izucheniyu i otsenke poputnykh tverdykh poleznykh iskopaemykh i komponentov pri razvedke mestorozhdeniy uglya i goryuchikh slantsev* // M.: Nauka. – 1987. – 135 s.
33. Kler, V.R. *Izuchenie soputstvuyushchikh poleznykh iskopaemykh pri razvedke ugol'nykh mestorozhdeniy* // M.: Nedra. – 1979. – 272 s.
34. *Metallogeniya i geokhimiya uglienosnykh i slantsesoderzhashchikh tolshch SSSR. Zakonomernosti kontsentratsii elementov i metody ikh izucheniya* / [V. R. Kler, V. F. Nenakhova, F. Ya. Saprykin i dr.]; Otv. red. N. A. Sozinov; AN SSSR, In-t litosfery. – M.: Nauka. – 1988. – 255 s.
35. Saprykin, F.Ya. *Geokhimicheskie osobennosti kontsentratsii redkikh elementov v razlichnykh fatsial'nykh tipakh otlozheniy uglienosnykh formatsiy* / F.Ya. Saprykin, V.F. Kler, A.F. Kulachkova // *Uglienosnye formatsii i ikh genesis*. – M.: Nauka. – 1973. – S. 126-138.
36. Skurskiy, M.D. *Nedra Zabaykal'ya* // Chita. – 1996. – 698 s.
37. Skurskiy, M.D. *Mestorozhdeniya poleznykh iskopaemykh – sputniki ugol'nykh, gazougol'nykh, neftnykh mestorozhdeniy i basseynov* // *Vesnik RAEN (Zap.-Sib. otдел.)*. – Kemerovo: izd-vo KuzGTU. – 2002. – Vyp. 5. – S. 218-222.
38. Kitaev, I.V. *Zooloobrazuyushchie i malye elementy ugley Dal'nego Vostoka* // Vladivostok. – 1989. – 140 s.
39. Zaritskiy, P.V. *Mineralogiya i geokhimiya diagenеза uglienosnykh otlozheniy* // Khar'kov: Izd-vo Khar'kovskogo un-ta. – 1971. – 123 s.
40. Shtakh, E. *Petrologiya ugley* / E. Shtakh, M.-T. Makovski, M. Teykhmyuller, G. Teylor, D. Chandra, R. Teykhmyuller / Per. s angl. Glushneva S. V., Dubrovskogo V. V., Khasinoy A. I. // M.: Mir. – 1978. – 554 s.
41. *Metamorfizm ugley i epigenez vmeshchayushchikh porod* / pod red. G.A. Ivanova // M.: Nedra. – 1975. – 256 s.
42. Eremin, I.V. *Petrografiya i fizicheskie svoystva ugley* / I.V. Eremin, V.V. Lebedev, D.A. Tsikarev // M.: Nedra. – 1980. – 263 s.
43. *Petrologiya organicheskikh veshchestv v geologii goryuchikh iskopaemykh* // M.: Nauka. – 1987. – 332 s.
44. Kasatochkin, V.I. *Stroenie i svoystva prirodnykh ugley* / V.I. Kasatochkin, N.K. Larina // M.: Nedra. – 1975. – 159 s.
45. *Mestorozhdeniya poleznykh iskopaemykh* // M.: Izd-vo MGGU. – 2001. – 570 s.
46. Babenko, V.P. *Veshchestvennyy sostav ugley SSSR* // Rostov n/D: Izd-vo Rostovskogo un-ta. – 1989. – 187 s.



47. Timofeev, P.P. Genezis gumusovykh ugley i ikh klassifikatsiya / P.P. Timofeev, L.I. Bogolyubova, I.E. Val'ts // Uglenosnye formatsii i ikh genezis. – M.: Nauka. – 1973. – S. 139-162.
48. Gavrilova, O.I. Khimicheskie svoystva mikrokomponentov ugley / O.I. Gavrilova, G.L. Stsepinskaya // Uglenosnye formatsii i petrologiya ugley: Sb. nauch. st. VSEGEI. – L. – 1985. – S. 73-83.
49. Eremin, I.V. Petrologiya i khimiko-tehnologicheskie parametry ugley Kuzbassa / I.V. Eremin, A.S. Artser, T.M. Bronovets // Kemerovo. – 2001. – 397 s.
50. Geologiya mestorozhdeniy uglya i goryuchikh slantsev SSSR. T. 12. Obshchie dannye po ugol'nykh basseynam i mestorozhdeniyam SSSR // M.: Nedra. – 1978. – 530 s.
51. Rukhin, L.B. Spravochnoe rukovodstvo po petrografii osadochnykh porod. T.2. Osadochnye porody / L.B. Rukhin, N.B. Vassoevich, V.N. Kobranova [i dr.]. // L.: Gosgeoltopizdat. – 1958. – 520 s.
52. Volkov, V.N. Geneticheskie osnovy morfologii ugol'nykh plastov // M.: Nedra. – 1973. – 136 s.
53. Stadnikov, G.L. Proiskhozhdenie ugley i nefiti // L.: Goskhimizdat. – 1933. – 221 s.
54. Shcherbak, G.G. Zakonomernosti formirovaniya inzhenerno-geologicheskikh usloviy ugol'nykh mestorozhdeniy Vostochnoy Sibiri i ikh vliyanie na ustoychivost' bortov kar'erov: dis. ... d-ra geol.-min. nauk // Tomsk: Tomskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. – 2002. – 445 s.
55. Voprosy metamorfizma ugley i epigeneza vmeshchayushchikh porod // M.: Nauka. – 1968. – 329 s.
56. Ryk, V.S., Malishevskaya, A. Petrograficheskiy slovar' // M.: Nedra. – 1989. – 589 s.
57. Makedonov, A.V. Tipy torfonakopleniya, ikh prostranstvennaya i vremennaya lokalizatsiya v uglensnykh formatsiyakh / A.V. Makedonov, I.E. Val'ts, I.M. Golovenok // Uglenosnye formatsii i ikh genezis. – M.: Nauka. – 1973. – S. 42-52.
58. Bogomolova, L.I. Vzaimosvyaz' soediniy organicheskogo i mineral'nogo veshchestva uglensnykh formatsiy pri litogeneze / L.I. Bogomolova, V.I. Koporulin // Uglenosnye formatsii i ikh genezis. – M.: Nauka. – 1973. – S. 96-103.
59. Grechukhin, V.V. Geofizicheskie metody issledovaniy ugol'nykh skvazhin // M.: Nedra. – 1965. – 488 s.
60. Logvinenko, N.V. Sostoyanie ucheniya o formirovanii veshchestvennogo sostava porod uglensnykh formatsiy / N.V. Logvinenko, V.V. Vorontsov, P.V. Zaritskiy // Uglenosnye formatsii i ikh genezis. – M.: Nauka. – 1973. – S. 86-95.
61. Inzhenernaya geologiya ugol'nykh mestorozhdeniy Sibiri i Dalnego Vostoka. T. 1. Zakonomernosti formirovaniya inzhenerno-geologicheskikh usloviy ugol'nykh mestorozhdeniy // Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta. – 1991. – 288 s.
62. Levenshteyn, L.M. Osobennosti preobrazovaniya organicheskogo veshchestva na pozdnykh stadiyakh litogeneza (katagenez i metagenez) / L.M. Levenshteyn, M.V. Golitsyn, E.M. Pakh // Uglenosnye formatsii i ikh genezis. – M.: Nauka. – 1973. – S. 105-112.
63. Kukharenyk, T.A. Okislennyye v plastakh burye i kamennyye ugli // M.: Nedra. – 1972. – 216 s.

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### Information about the author

**Mikhail D. Skursky**, Dr.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University  
Russian Federation, Kemerovo region – Kuzbass, 650000,  
Kemerovo, 28 Vesennaya st.

Transbaikal State University  
Russian Federation, Chita region, 672039, Chita, 30 Alexandro-  
Zavodskaya st.  
e-mail: skurskynd@kuzstu.ru

