

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Н.Ф. Столбова, Е.Р. Исаева

ПЕТРОЛОГИЯ УГЛЕЙ

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2013

УДК 552.57(075.8)
ББК 26.31:33.31я73
С81

Столбова Н.Ф.

С81 Петрология углей: учебное пособие / Н.Ф. Столбова, Е.Р. Исаева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 77 с.

Пособие посвящено происхождению и методам изучения углей. Содержит описание физических свойств углей, микроскопическое изучение их в проходящем, отраженном и ультрафиолетовом свете. Знакомит с углехимическими методами анализа и дает сведения для промышленной классификации углей.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Прикладная геология» по дисциплине «Литоология» (профессиональный цикл, базовая часть СЗ.Б17).

УДК 552.57(075.8)
ББК 26. 31:33.31я73

Рецензенты

Кандидат геолого-минералогических наук
доцент кафедры ГМ и МР ИГДГ и ГССФУ
И.Ю. Яковлев

Кандидат технических наук
заместитель директора по научной работе
ООО «Восточный научно-инженерный центр»
В.П. Иванов

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2013
© Столбова Н.Ф., Исаева Е.Р., 2013
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЧАСТЬ 1. ОРГАНИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА.....	5
ЧАСТЬ 2. МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ УГЛЕЙ	22
ЧАСТЬ 3. МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕЙ	32
3.1. Микроскопическое исследование углей в проходящем свете	32
3.2. Микроскопическое исследование углей в отраженном свете.....	44
3.3. Определение количественного содержания мацералов	49
3.4. Отражательная способность витринита	50
3.5. Флуоресцентная микроскопия	53
ЧАСТЬ 4. УГЛЕХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	55
ЧАСТЬ 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ	63
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	66

ВВЕДЕНИЕ

Органические породы по экономическому значению, по той роли, которую они играют в жизни человека, превосходят всё другое минеральное вещество, добываемое человечеством. Исключительно велико и их научное, в частности историко-геологическое, значение. Важность и специфичность этой группы пород объясняют, почему она рассматривается в специальных дисциплинах, в частности – петрологии углей и углегеологии.

В настоящее время предусматривается обеспечение ускоренного развития работ, увеличение разведанных запасов минерально-сырьевых ресурсов и, в первую очередь, топливно-энергетических. Увеличение добычи угля в перспективе будет осуществляться в основном в восточных районах страны за счет роста добычи в бассейнах, расположенных в пределах развивающихся территориально-производственных комплексов (ТПК): Кузнецком, Канско-Ачинском, Южно-Якутском и др.

Важность изучения угольной петрологии и подготовка специалистов в этой области очевидны. Необходимость составления пособия потребовало отсутствие в учебниках по литологии указаний для выполнения углепетрографических лабораторных работ.

Настоящее методическое пособие подготовлено для знакомства с формированием углей, а главное, к лабораторным работам по дисциплине «Петрология углей». Мы ограничиваемся кратким обзором, необходимым для первоначального знакомства с процессом изучения углей, а за более глубокими и систематическими сведениями направляем, в первую очередь, к прилагаемому списку рекомендованной литературы в конце пособия.

Пособие включает описание физических свойств углей, микроскопическое изучение их в проходящем и отраженном свете, количественное определение состава микрокомпонентов гумусовых и сапропелевых углей, ознакомление с углехимическими методами исследования, а также с промышленной классификацией углей.

ЧАСТЬ 1. ОРГАНИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА

В настоящее время среди геологов используются различные определения органических пород. Широко распространено название «каустобиолиты», предложенное Г. Потонье в 1908 г. для углей и горючих сланцев, в последствие расширенное также на концентрированные формы горючих ископаемых, включая нефть и другие битумы. Этот термин отражает некое физическое свойство пород – их способность гореть (греч. «каустос» – горючий).

Органические породы – породы, сложенные органическим веществом (ОВ), в той или иной мере переработанные вторичными процессами; это особая группа горючих пород, включающая твердые, жидкие и газообразные породы, формирующиеся за счет органического вещества. В пособие будут рассмотрены твердые органические породы – угли.

ТВЕРДЫЕ КАУСТОБИОЛИТЫ

И. Б. Волкова сформировала понятие об уровнях организации компонентов угольного ряда – от низшего к высшему.

1. Мацерал (микрокомпонент) (термин введен М. Стопс в 1935 г., по аналогии с минералом) – элементарная петрографическая единица органического, в частности угольного, вещества, устанавливаемая под микроскопом и имеющая конкретные морфологические – диагностические признаки.

2. Микролитотип, или микроингредиент – типичная ассоциация мацералов, видимая под микроскопом в виде слоев мощностью более 50 мкм.

3. Литотип – парагенетическая ассоциация мацералов и микролитотипов, проявленная в виде слоев внутри пласта при мощности от нескольких сантиметров до первых метров.

4. Пласт угля – парагенезис литотипов и породных прослоев в пластах сложного строения, заключенных между почвой и кровлей, мощностью от десятков сантиметров до десятков и первых сотен метров.

Мацералы (микрокомпоненты углей)

Когда микроскопическое изучение углей, начатое в 1854 г. в Англии (почти одновременно с применением микроскопа в петрографии), усовершенствовалось, стало возможным в массовом порядке различать микрокомпоненты или микроингредиенты. В последнее время высказываются разные взгляды на объем мацералов и их число: И. И. Аммосов с соавторами, например, выделяют 24 мацерала (микрокомпонента) в бурых углях и 17 в каменных, объединяя их в 6 групп. Ниже приведем классификацию мацералов, изложенную Ю.А. Жемчужниковым и А.И. Гинзбург, они выделили:

1) микрокомпоненты растительных тканей, различающиеся в зависимости от состава исходного вещества, степени его гелификации, связанной с потерей внутренней структуры, и фюзенизацией, отождествляемой с окислением;

2) микрокомпоненты водорослей – главным образом зеленых и сине-зеленых, представленных микроскопическими колониальными формами;

3) споры и пыльцу – их зерна и оболочки разнообразной формы, размеров и цветов в проходящем и отраженном свете;

- 4) кутикулу листьев, различную по клеточному строению, толщине и облику в шлифах, связанную с условиями отложения и углефикации;
- 5) субериновое вещество – продукт выделения коровых тканей;
- 6) смоляные тельца;
- 7) склероции грибов или сетчатые тела;
- 8) округло-угловатые тела невыясненной природы;
- 9) бесструктурную основную массу угля, которая может быть совершенно однородной или состоящей из отдельных пятен, стяжений, приводящих к неоднородному зернистому сложению; по цвету может быть желтой прозрачной, красной прозрачной, коричневой полупрозрачной и черной непрозрачной.

В углях могут быть встречены также редкие остатки губок, червей, насекомых, копролиты и некоторые другие образования.

Микролитотипы (микроингредиенты) углей

(Штах и др., 1978), крупные микрокомпоненты, сложные мацералы, состоящие из нескольких, более элементарных мацералов, которые могут быть отдаленно уподоблены *сложным компонентам разных осадочных пород* – раковинам, литокластам, особенно в грубообломочных породах, линзам и прослойкам, толщина которых не превышает определенную норму (например, 1 мм).

Микролитотипы (МЛТ) делят на моно-, би- и тримацеральные. От мацералов МЛТ отличает суффикс «-ит», например, витрит, липтит и др.

Литотипы гумусовых углей

(ЛТ), т. е. макроскопически различимые слои. В 1919 г. М. Стопс в каменных углях выделила четыре микроскопических ингредиента: витрен, кларен, дюрен и фюзен. Позже обнаружилось, что витрен и фюзен действительно представляют микрокомпонентный (минеральный, мацеральный – витринит, фюзенит) уровень. Дюрен же и кларен – более сложные тела, чем минералы. Они соответствуют *уровню пород – литотипам*.

Выделяют четыре основных литотипа в гумусовых и два – в сапропелевых углях. В гумусовых углях выделяют: 1) витрен – блестящие слои, 2) кларен – полублестящие, 3) дюрен – матовые слои и 4) фюзен – обычно минерализованный уголь типа древесного. Слои разных ЛТ в пласте образуют полосчатый уголь.

Витрен (блестящий уголь) формирует черные слои с сильным блеском, часто хрупкие, густо вертикально трещиноватые, распадающиеся на кубики (мелкая фракция) при разработке, с раковистым изломом более толстых слоев, толщиной от 3 до 10 мм (более тонкие слои считаются клареном).

Кларен образует тонкорасслоенные (слои тоньше 3 мм) черные угли с промежуточным между витреном и дюреном блеском, т. е. полублестящие. Обычно это чередование витрена, дюрена и фюзена.

Дюрен (матовый уголь) черный или серый, часто со слабым жирным блеском, очень твердый, колющийся на крупные куски с шероховатым изломом, мощностью слоев более 3–10 мм (а более тонкие матовые слои фиксируются как кларен), иногда до 10 см, слои выдержаны по простиранию и почти всегда более толстые, чем слои витрена и кларена, хотя и менее распространенные. Дюрен можно спутать с углестыми сланцами.

Фюзен сходен с древесным углем. Он черный, шелковистый, нередко волокнистый, мягкий, сажистый, пачкающий руки, а иногда твердый, если полости клеток

заполнены карбонатом, кварцем или другими минеральными примесями. Встречается миллиметровыми линзами или их скоплениями, толщиной до 20 см и длиной в несколько метров.

В настоящее время, благодаря возможностям микроскопических и углехимических методам исследования, литотипы часто не выделяют.

КЛАССИФИКАЦИИ УГЛЕЙ

Со времени работ А. И. Гинзбург и Ю.А. Жемчужникова, благодаря совершенствованию методов и систематизации наблюдений, были достигнуты значительные успехи в углепетрографии, обобщенные, в частности, в работе И. Б. Волковой, которую мы и будем использовать в дальнейшем изложении. Главные направления классификации углей включают: структурное классифицирование мацералов; вещественное классифицирование мацералов; создание вещественных классификаций пород по компонентному составу, определяющему их физико-технические свойства; а также классифицирование по особенностям преобразования от уровня диагенеза до метаморфизма.

Структурно – вещественная классификация строится на учете органических микрокомпонентов, образующих определенные сочетания при определенной структуре, текстуре и других макро- и микроскопических признаках. Парагенезисы мацералов, составляющие слои, мощностью от нескольких сантиметров до первых метров, получили наименование **типов углей**. Тип углей является базовой единицей описательной углепетрографии. Не менее важной, на наш взгляд единицей, как всеобщей в осадочной петрографии является **вид** – сочетание определенного вещественного и структурного парагенезиса. В таблице 1.1 (стр. 14) такие единицы обозначены как *подтипы*. В действительности они, скорее, являются видами – в достаточно строгом с точки зрения общей номенклатуры понимании этого термина.

Петрографическая классификация углей строится в высших таксономических уровнях на вещественных основаниях (табл. 1.1). Самые крупные подразделения – группы – выделены по составу растений-углеобразователей – это *гумолиты* (*гумусовые угли*) и *сапропелиты* (*сапропелевые угли*).

ГУМУСОВЫЕ УГЛИ

Гумолитами называют угли, образовавшиеся из остатков высших растений, главным образом из их лигнино-целлюлозных тканей, при недостатке кислорода во влажной среде, сначала в результате микробиологических процессов преобразования – *гумификации* (Жемчужников, 1935, 1948), а потом в результате термобарических превращений – *углефикации*, или метаморфизации органического вещества. Название происходит, вероятно, от *humus* – земля, ибо гумусом называют основную часть органического вещества почв, происходящую главным образом из высших растений, полностью утративших черты анатомического строения преимущественно в результате биохимического разложения.

Это темноокрашенный, черный сложный агрегат (смесь) аморфных веществ – *гумусовых веществ*, по растворимости и экстрагируемости делящихся на *фульвокислоты* (ФК) – наиболее растворимые и высоко подвижные соединения, *гуминовые кислоты* (ГК) – группу нерастворимых в минеральных и органических кислотах гумусовых соединений, преобладающих, например, в черноземах, *гумины* – неэкстрагируемые части гумуса, обогащенные наиболее устойчивыми компонентами, часто

остаточными от деградации и других превращений, и на *гуматомелановые кислоты* – группу гумусовых веществ с промежуточными между ФК и ГК свойствами, растворяющихся в полярных органических растворителях.

По комплексу признаков Ю.А. Жемчужников (1948) гумолиты делил на *гумиты* (термин Потонье, 1908), образующиеся преимущественно из лигнин-целлюлозных тканей растений, и *липтобиолиты*, сложенные в основном кутиновыми, субериновыми и липоидными компонентами, оставшимися (греч. «лейптос» – остаточный) от наиболее стойких частей высших растений: оболочек спор, кутикулы, пробковой ткани и смоляных тел.

В соответствии с предложениями И.Э. Вальц, А.И. Гинзбург и Н.М. Крылова (1968), группы стали делить на **классы по составу основного углеобразующего вещества** и выделять гелитолиты, фюзенолиты и липоидолиты, а также класс смешанных пород – микстогумолитов.

Гелитолиты – наиболее распространенный класс углей, характеризуется преобладанием гелифицированных компонентов (витринита $Vt > 50\%$, фюзинита и липтинита $F + L < 50\%$), обладает повышенным блеском по сравнению с другими классами углей. По степени преобладания основной массы делятся на гелиты – блестящие угли, характеризующиеся максимальным содержанием гелифицированных мацералов ($Vt > 75\%$, $F + L < 25\%$), и гелититы ($Vt = 50 + 75\%$, $F + L = 50 + 25\%$), составляющие категорию полублестящих и полуматовых углей. На уровне вида различают категории углей с фрагментарной, аттритовой, однородной и смешанной структурами.

Фюзенолиты – матовые и полуматовые угли, в которых фюзенизированные и слабо фюзенизированные компоненты присутствуют в количестве более 50%. Подразделяются они на фюзиты ($F > 75\%$, $Vt + L < 25\%$) – типично матовые угли, и фюзититы ($F = 50 + 75\%$, $Vt + L = 50 + 25\%$) – полуматовые. Подобно гелитолитам, на уровне вида, по степени сохранности структурных компонентов фюзинита подразделяются на фрагментарные, аттритовые, однородные и смешанные.

Липоидолиты – угли, сложенные мацералами группы липтинита в количестве более 50% от общего объема угольного вещества. Они подразделяются на липоидиты – матовые и полуматовые угли с максимальным содержанием липоидных компонентов ($L > 75\%$, $Vt + F < 25\%$) и липоидотиты – полуматовые, нередко блестящие ($L = 50 + 75\%$, $Vt + F = 50 + 25\%$). Виды, как структурные проявления мацералов в данном классе, не выделяются. Разновидности и их наименования устанавливаются, исходя из природы основного углеобразующего вещества – споровые угли – спориты, кутикуловые и т. д.

САПРОПЕЛЕВЫЕ УГЛИ

Сапропелевые угли (греч. «сапрос» – гнилой, «пелос» – ил), или сапропелиты, образовавшиеся в основном из зоо- и фитопланктона в застойных водоемах типа лагун с весьма ограниченным водообменом, состоят преимущественно из мацералов группы альгинита. От гумусовых углей они резко отличаются отсутствием слоистости, т. е. изотропностью, однородностью, высокой прочностью (с доисторических времен из них изготавливались браслеты), а также большим содержанием водорода (на низких ступенях метаморфизма), дают много газа и смолы, т. е. являются каустобиолитами битумного или нефтяного ряда.

Делятся на гумито-сапропелиты и собственно сапропелиты. В гумито-сапропелитах содержится 25–50% альгинита, а в собственно сапропелитах – более 50%. В сапропелитах всегда присутствует гелифицированное вещество, часто в смеси с тонкодисперсной глиной.

Они матовые, массивные, пелитоморфные, имеют раковистый излом, светло- и темно-коричневые, вязкие, загораются от спички. Если сохраняется анатомическое строение водорослей и других богатых жирами организмов, породы называются *телосапропелитами*, а если нацело состоят из бесструктурной, обычно желтоватой основной массы – *сапроколлитами*. Залегают линзами или прослоями в гумусовых углях или образуют самостоятельные слои.

На стадии осадка сапропелевые угли представлены *сапропелем*, или *гиттией*, – илом с преобладанием органического вещества – тонкого или грубого детрита водорослей, животных, особенно часто насекомых, растений, нередко со значительной (до 30–50%) примесью терригенных и аутигенных минералов. Цвет темный, консистенция мягкая и жирная, строение однородное или микрослоистое, содержание С до 60–70%. Часто встречается в торфе. Обычно содержит примесь гуминовых веществ.

Сапропелиты связаны переходными с гумусовыми углями типами – гумито-сапропелитами и сапропелито-гумитами. Часто смешиваются с неорганическими компонентами и минералами, что намечает переход к *горючим сланцам*, по составу, типу и природе органического вещества в основном аналогичным сапропелитам. А также, по-видимому, сапропелиты являются основной исходной субстанцией битумолитов. В связи с этим полезно осветить особенности сапропелитов не только с позиций углепетрографов, но также в соответствии с представлениями, сложившимися в нефтяной геологии.

Сапропелиты связаны постепенным переходом с гумитами через *кеннельские угли*, или *кеннели* (англ. «candle» – свеча), – черные матовые и со слабым жирным блеском породы с раковистым изломом, обычно еще с правильной микрослоистостью (отличие от богхедов), не содержат альгинита или его мало, часто обогащены спорами или мелкими частицами витринита, инертита, образуют слои толщиной до 80 см, встречаются в большинстве угольных месторождений, узнаются (как метакеннельский уголь) и на антрацитовой стадии, в частности по витринизированным спорам.

Если кеннели являются сапропелито-гумитами, то настоящие сапропелиты – *богхеды*, которые через кеннель-богхеды и богхед-кеннель связаны переходом с кеннельскими углями. Богхеды уже практически не содержат спор, но альгинита в них бывает до 30% и больше. Они черные, матовые, землистые, пелитоморфные, неслоистые или с неясной слоистостью, плотные, крепкие, хрупкие, иногда маркие, загораются с трудом, дают пламя, являются литифицированным сапропелем. Содержат 70–90% С, 3–6% О и 6–9% Н. Внешне сходны с кенделями. Ниже скачка углефикации распознаются как метабогхеды. Названы по местности Богхед в Англии.

Обычны кеннельские и богхедовые глинистые сланцы, постепенно переходящие в углисто-глинистые сланцы, в которых глинистого вещества больше органического. Есть в углях и постепенные переходы к «кеннельскому железняку», в котором преобладает сидерит. В прошлом он разрабатывался как железная руда. Кеннели и богхеды при перегонке дают продукты, сходные с нефтью.

Таблица 1.1
 Таксономические единицы структурно-вещественной классификации углей. По И. Б. Волковой (2), с небольшими изменениями (Шванов, 1998)

Группы	Классы	Подклассы	Типы	Подтипы (виды)					
				Телогелиты	Атритито-гелиты		Гомогелиты		Гелиты
Гумолиты	Гелитолиты $Vt \geq 50\%$ $I + L \leq 50\%$	Гелиты $Vt = 75-100\%$ $I + L = 0-25\%$	Гелиты, липоидо-гелиты, фюзинито-гелиты, липоидо-фюзинито-гелиты	Телогелиты	Атритито-гелиты		Гомогелиты		Гелиты
		Гелиты $Vt = 50-75\%$ $I + L = 25-50\%$	Липоидо-гелиты, фюзинито-гелиты, липоидо-фюзинито-гелиты	Фрагментарные	Телогелиты	Атрититовые	Атрититогелиты	Однородные	Гомогелиты
	Фюзенолиты $I \geq 50\%$ $Vt + L \leq 50\%$	Фюзиты $I = 75-100\%$ $Vt + L = 0-25\%$	Фюзиты, гелито-фюзиты, ли-поидо-фюзиты, гелито-ли-поидо-фюзиты	Телофюзиты	Атритито-фюзиты	Атритито-фюзиты	Гомофюзиты	Гомофюзиты	Фюзиты
		Фюзиты $I = 50-75\%$ $Vt + L = 25-50\%$	Гелито-фюзиты, липоидо-фюзиты, гелито-липоидо-фюзиты	Телофюзиты	Атритито-фюзиты	Атритито-фюзиты	Гомофюзиты	Гомофюзиты	Фюзиты
	Липоидолиты $L \geq 50\%$ $I + V \leq 50\%$	Липоидиты $L = 75-100\%$ $Vt + I = 0-25\%$	Липоидиты, гелито-липоидиты, фюзинито-липоидиты, ге-лито-фюзинито-липоидиты				Не выделяются		
		Липоидиты $L = 50-75\%$ $Vt + I = 25-50\%$	Гелито-липоидиты, фюзинито-липоидиты, гелито-липоидиты, фюзинито-липоидиты						
Микстогумолиты $Vt < 50\%$ $I < 50\%$ $L < 50\%$	Микстогумолиты $Vt = 25-50\%$ $I = 25-50\%$ $L = 25-50\%$	Микстогумолиты, микстогумиты	Выделяются фрагментарные и атрититовые подтипы						

Окончание табл. 1.1
 Таксономические единицы структурно-вещественной классификации углей. По И. Б. Волковой (2), с небольшими изменениями (Шванов, 1998)

Сапрогумолиты	Сапрогелиты	Альгито-гелиты (сапрогелиты) Vt > 75% Alg < 50% L + I < 25% Альгито-гелиты (сапрогелиты) Vt = 50-75% Alg < 50% L + I < 25%	Более детальные подразделения этих групп выделяются при специальных исследованиях						
Сапропелиты	Гумито-сапропелиты (гелито-сапропелиты) Alg = 25-50% Vt + I + L = 50-75%	Гумито-альгиты (гелито-альгиты) Alg = 35-50% Vt + I + L = 50-65% Гумито-альгиты (гелито-альгиты) Alg = 25-50% Vt + I + L = 65-75%							
	Собственно сапропелиты Alg > 50% Vt + I + L < 50%	Альгиты Alg = 75-100% Vt + I + L = 0-25% Альгиты Alg = 50-75% Vt + I + L = 25-50%							

Итак, по составу растений-углеобразователей выделяются две основные группы – это *гумолиты* (*гумусовые угли*) и *сапропелиты* (*сапропелевые угли*). Группы, как описано выше, подразделяются на классы по составу основного углеобразующего вещества, выделяют гелитолиты, фюзенолиты, липоидолиты, микстогумолиты для гумолитов; сапрогелитолиты для группы сапрогумолитов; гумитосапропелиты и собственно сапропелиты для группы сапропелитов.

Далее классы подразделяются на **подклассы по степени преобладания основного углеобразующего вещества над второстепенными мацералами**. Подклассы делятся на **типы по соотношению конкретных углеобразующих мацералов**. Типы подразделяются на **подтипы (виды) по структуре углеобразующего вещества (табл. 1.1)**.

Таким образом, в конечном звене получаем структурно-вещественную классификацию органических пород угольного ряда, аналогичную классификациям других классов и надклассов осадочных пород. Внутри видов могут быть выделены разновидности – по индивидуальным для каждого класса признакам: в гелитолитах это может быть тканевый состав мацералов группы витринита, в фюзенолитах – степень фюзенизации, в липоидолитах – состав липтинитов и т. д.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ УГЛЕЙ

Условия формирования углей разнообразны. Они накапливаются на всем фациальном профиле от высокогорий (торфяники у снеговой линии) до впадин на дне океанов и во всех климатических зонах, за исключением полярных. Если рассматривать условия по типам твердых каустобиолитов, то фациальный профиль сужается. Наиболее широк он у горючих сланцев, и начинается в озерах на суше как в гумидных, так и в аридных зонах, включает долины рек, дельты, а заканчивается в морях и океанах, во всех батиметрических обстановках: прибреговых лагунных, заливных, эстуариевых, западинно-шельфовых, батидальных и абиссальных. Не изобавлены от горючих сланцев и кратерные озера. Угли же связаны практически только с сушей, хотя и распространяются на прибереговую, лагунно-дельтовую зону моря или озерных водоемов (Крашенинников, 1957; Тимофеев, 1970, 1972, 1973 и др.), и почти не характерны для аридных зон.

Наиболее благоприятен *аккумулятивный плоский рельеф* – аллювиальные равнины, дельты, приморские мангровые пояса т. д. Поэтому благоприятны лишь нисходящие тектонические движения – *опускания*. Скорость их может быть почти любая, за исключением весьма быстрого погружения: рост растительной массы способен компенсировать и быстрые опускания, так как наращивание торфяника идет до миллиметров в год.

В целом каустобиолитов не бывает без воды, влаги, так как вода – основное условие фитобиоса. Поэтому не кажется неожиданным правило: чем более *влажный климат*, тем больше твердых каустобиолитов. При этом основную роль играет не общее абсолютное количество выпадающих осадков, а соотношение его с испарением.

Из *современных* обстановок наиболее благоприятны для торфообразования Западная Сибирь, бассейны Амазонки, Ганга и Брахмапутры, Флай (Новая Гвинея) и др.

Общее условие накопления ОВ для всех типов твердых каустобиолитов – *анаэробная среда* в осадке или торфянике, предохраняющая от медленного сгорания – гниения и сохраняющая органику для гумификации или битуминизации. На суше бескислородные условия обеспечиваются совпадением уровня стоячих грунтовых вод с поверхностью Земли, т. е. *заболачиванием*, а в водоемах – их *застойностью*.

Все это порождает восстановительные условия в первичных накоплениях органической массы – до – 200–300 мВ или еще ниже. С кислородным режимом связано не только сохранение или разрушение органики, но и развитие бактерий, низших грибов и других микроорганизмов, перерабатывающих ОВ в том или ином направлении. При большом количестве кислорода ОВ *дезинтегрируется* и разлагается (превращаясь в CO₂, воду и другие удаляющиеся флюиды) обычно без твердого остатка или с его небольшим количеством (смола и другие липтиниты и инертиты).

При *гниении* в условиях некоторого недостатка кислорода аэробные бактерии и низшие грибы образуют гумусовые вещества с низким содержанием Н, позже превращающиеся в оксифюзинит и макринит. При еще большем дефиците кислорода происходит *торфообразование*, в результате которого в основном из *лигнина* образуются *гуминовые кислоты* (гумификация), при углефикации на более поздних стадиях дающее *витринит*. В полностью восстановительной среде происходит *брожение* (метановое, водородное, масляное или иное) анаэробными бактериями, отнимающими кислород у вещества и, таким образом, обогащающими его водородом, – это *битуминиты* и *витриниты* со слабой отражательной способностью – составные части сапропеля и сапропелитов. Их флюидные дериваты позже дают нефть.

Кислотность торфа и сапропеля влияет на жизнедеятельность бактерий и таким образом также управляет преобразованием. Их рН варьирует от 3,3 (в верховых, особенно в сфагнумовых, болотах) до 8,1 (в мангровых болотах Флориды с аридным климатом). Торф низинных болот имеет рН 4,8–6,5, а верховых – 3,3–4,6. Влияет и субстрат: на песчаных почвах Северной Америки кислотность выше (рН 4,5–6,5), чем в торфе на глинистых илах болот поймы р. Миссисипи (рН 6,5–7,5). Торф, испытывающий влияние моря, имеет рН выше, реакция часто щелочная.

Многие бактерии лучше развиваются в нейтральной или слабощелочной среде (рН 7,0–7,5). Чем кислее торф, тем меньше в нем бактерий, и флора становится все более специализированной. Только низшие грибы, обитающие в самом верхнем слое торфа (до глубины примерно 0,4 м), хорошо переносят низкие рН (около 4,0). С глубиной количество бактерий уменьшается, ослабевает и затухает и микробиологический фактор преобразования органики. Анаэробные бактерии обитают до глубины 10 м. С глубиной уменьшается кислотность и несколько возрастает рН.

Температура поверхности торфа и ила играет важную роль при первичном разложении ОВ. Чем она выше, тем обильнее мир микроорганизмов, более активны бактерии и быстрее химические процессы. Оптимальная температура для бактерий, разлагающих целлюлозу, 35–40°C.

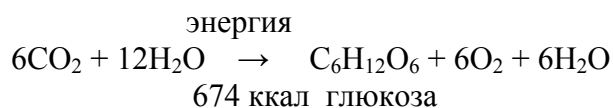
Питание торфяников веществами, необходимыми для развития жизни, – органическими и минеральными, кислородом, азотом, фосфором, кальцием, калием, серой и др. – позволяет различать болота *эвтрофные* (с обильным питанием), *мезо-* и *олиготрофные* (со средним и бедным питанием). Низинные болота, питающиеся подземными водами, обычно эвтрофны, а верховые – олиготрофны, так как вода в них в основном атмосферная. Обильное питание способствует пышному развитию растительности и микроорганизмов, быстрому приращению органической массы и ее глубокому преобразованию. Олиготрофный торф весьма кислый (рН 3,5–4,0), с мало преобразованными фитофрагментами и с очень малой минеральной примесью. Это ясно указывает на связь зольности с обильным питанием, осуществляемым обычно подземным или поверхностным стоком в болотной области под уклон зеркала грунтовых вод. Повышенный приток кислорода способствует усиленному образованию гуминовой кислоты, которая снижает рН до 4,5–3,5. Поступление азота и мине-

ральных солей благоприятствует жизнедеятельности бактерий, а они создают много протеина (параллельно с разложением целлюлозы и гемицеллюлозы), продукты распада которого позже соединяются в гумусовые вещества с бактериальной «меткой» – повышенным содержанием азота, делающего эти вещества более устойчивыми.

Условия седиментации сапропелевых осадков имеют отличия. Естественно, рН этих илов часто выше 7, особенно в карбонатных и в целом морских осадках. В горючих сланцах отмечен и глауконит, казалось бы, запрещенный для них минерал.

Источник вещества: остатки наземных растений – исходное вещество гумолитов и водоросли – для сапропелитов и горючих сланцев. Ткани растений поставляют целлюлозу, гемицеллюлозу, лигнин, белки, жиры, воски и смолы, пектиновые вещества, пентозаны, гексозаны и некоторые другие. По массе в растениях первое место принадлежит целлюлозе, второе – лигнину. Целлюлоза, или клетчатка, образует стенку клетки и относится к углеводам с формулой $[C_6(H_2O_5)]_n$. Клетчатка сравнительно легко гидролизуется. Целлюлозу инкрустирует более стойкий лигнин.

Первичное органическое вещество – это продукт фотосинтеза. При фотосинтезе световая энергия превращается в химическую. В основе процесса лежит химическое превращение воды и углекислого газа в органическое вещество в форме глюкозы. Побочным продуктом является кислород. Последний выделяется из молекулы воды, но не из углекислого газа. В простой форме уравнение фотосинтетической реакции выглядит так:



Из глюкозы, возникающей при фотосинтезе, самые примитивные организмы могут синтезировать целлюлозу, крахмал и многие другие необходимые им соединения. Следовательно, фотосинтез – основной процесс массового образования органического вещества на Земле.

Предполагается, что образование органического вещества путем фотосинтеза стало повсеместным лишь 2 млрд. лет назад, хотя древнейшие из запечатленных в осадках форм органической жизни имеют возраст 3,1–3,3 млрд. лет.

Считается, что атмосфера на ранней стадии существования Земли была лишена свободного кислорода и содержала H_2 , CH_4 , NH_3 , CO_2 , N_2 и H_2O . Примитивные организмы в этих условиях для поддержания жизни, вероятно, использовали абиогенные продукты органического синтеза в качестве источника энергии.

Постепенно в них накапливался пигмент, способный осуществлять фотосинтез. Вероятно, сначала это был не хлорофилл, так как он не был способен выделять кислород. Лишь с появлением сине-зеленых водорослей, берущих свое начало от фотосинтезирующих бактерий, начал продуцироваться кислород. С этого времени фотосинтез распространился повсеместно. Это заложило основание пирамиды жизни и обеспечило развитие более высоких ее форм – органического вещества.

Растения-углеобразователи сильно эволюционировали в истории Земли. В девоне это были в основном невысокие псилофиты, в карбоне – древесные лепидодендроны (плауновые), папоротники и каламиты (хвощи), а в конце периода, в связи с аридизацией – голосемянные кордаиты, близкие к современным хвойным, достигшие расцвета в перми, особенно в Азии, Австралии и Северной Америке. В юре – расцвет голосемянных – гинкговых и саговых; появление араукарий и секвой, произрастающих и ныне. В меловом периоде углеобразователями стали покрытосе-

мянные, из которых в палеогене появились деревья с опадающей листвой – предки современных берез, осин, ольхи и др.

Современные низинные торфяники формируются из остатков берез, ольхи, ели, ивы, хвоща, папоротника, тростника, осоки, мхов (гипновых и сфагновых), а верховые – еще из сосны, лиственницы, вереска, пушицы, мхов. В тропических зонах торф формируется из разнообразных мангровых и иных деревьев и кустарников. Различают торфа лесные, лесотопяные и топяные, а по составу растений – сфагновые, осоковые, сосновые, березовые и т. д.

В таблице 1.2 показана последовательность событий на Земле, влияющая на эволюцию жизни и формирование органического вещества.

Таблица 1.2

Последовательность событий на Земле

Время в млн лет	Геологическая эра		Важнейшие события в истории Земли	
1000	Кайнозойская		Млекопитающие	
	Мезозойская		Сосудистые растения	
	Палеозойская		Позвоночные	
	Поздний	Протерозой	Многоклеточные ФОТОСИНТЕЗ	
1650	Средний		Бактерии и примитивные водоросли	
2600	Ранний		Абиологическая, химическая эволюция	
4000	Архей		Появление больших количеств воды на Земле	
5000			Образование Земли	
			Восстановительная атмосфера	↑ Возрастание кислорода в атмосфере

Органическое вещество состоит из углерода, водорода и кислорода.

Углерод заслуживает особого внимания. Первичным его источником являлся углекислый газ атмосферы и гидросферы, а также разрушающиеся магматические породы.

Большая часть углерода на Земле концентрируется в осадочной оболочке, но лишь 18% его находится в форме органического углерода (табл. 1.3.). Остальная часть углерода осадочного генезиса связана в форме карбонатов.

В природе существует подвижное равновесие между органическим углеродом и углеродом карбонатным. Лишь ничтожная часть органического углерода 0,01–0,1% накапливается в земной коре. Остальная его часть находится в круговороте.

Кислород, принимающий участие в органическом веществе, также является продуктом фотосинтеза. Расчеты баланса кислорода и органического углерода подтверждают это положение.

В общем же случае отношение расчетного количества кислорода ($16,9 \cdot 10^{15}$ т) к количеству органического углерода ($6,4 \cdot 10^{15}$ т) является близким к отношению масс

этих элементов в молекуле CO₂, что указывает на конкретный первичный источник углерода и кислорода в органическом веществе.

Таблица 1.3

Среднее содержание в % основных элементов в углеродистых породах. По А.А. Ганееву

Сырье	C	H	O	N
Древесина	50	6,0	43	1,0
Торф	59	6,0	33	2,0
Бурый уголь	69	5,5	25	До 0,8
Каменный уголь	82	5,0	13	До 0,8
Антрацит	95	2,5	2,5	Следы

Продуценты органического вещества (ОВ) менялись в истории земли. С докембрия до девона единственным первичным источником ОВ был морской фитопланктон. Начиная с девона, все возрастающая доля первичной продукции приходится на высшие растения. В настоящее время считается, что морской фитопланктон и высшие наземные растения производят приблизительно равные количества органического углерода.

С количественной точки зрения наиболее важными источниками органического вещества в осадках являются четыре группы организмов: фитопланктон, зоопланктон, высшие растения и бактерии.

Те или иные сообщества организмов, определяют *тип органического вещества*, захороненного в осадках.

Несмотря на то, что все живые организмы сложены одними и теми же химическими соединениями: липидами, белками, углеводами и лигнином, в составе органического вещества наблюдаются и различия. Так морские водоросли, планктон, зоопланктон существенно обогащены белками (>50%), липидами (5–25%) и углеводами (до 40%). Наземные растения в значительной степени построены целлюлозой (30–50%) и лигнином (15–25%). Оба эти соединения слагают ткани, выполняющие опорные функции, и не нужны живущим в воде планктонным организмам.

В связи с компонентным составом органическое вещество наземного происхождения характеризуется химическим соотношением Н/С близким к 1,0–1,5, а органическое вещество морского происхождения – соотношением Н/С близким к 1,7–1,8.

Транспортировка органического вещества. Отмирающий органический материал транспортируется в почвенные слои и в осадок водных потоков, морей и океанов. На пути к месту захоронения он разлагается химически, подвергается микробиальному воздействию, частично окисляется, растворяется, переходит в сложные органические кислоты, отлагается и накапливается.

Транспортировка органического материала осуществляется в основном в виде двух форм: детритной и растворенной. *Детритная форма* – это живые и отмершие организмы, их частички с размерностью обычно менее 1 мкм. *Растворенное вещество* – это продукты химического и микробиального происхождения. Размер отдельных органических компонентов обычно более 1 мкм. О соотношении форм переноса можно судить по продуктам выноса реки Амазонки, составляющим 20% мирового речного стока. В этом стоке содержится 10¹⁰ т органического углерода в год. Около 10⁷ т общего органического углерода выносятся в растворенной форме. Остальной органический углерод переносится в виде детритного вещества. Следо-

вательно, для транспортировки органического материала гораздо большее значение имеют детритные формы.

Способ образования, так же как и состав растений, определяет многие качества углей. Различают способы первичного накопления органической массы и его преобразование в постседиментационных стадиях.

Господствующие *автохтонные* угли формируются на месте произрастания углеобразователей, что устанавливается по корням в почве пластов, стволам деревьев в вертикальном положении, особым кучерявым текстурам и постепенному переходу почвы в угли. Это выражается обычно в малой зольности угля. Реже угли *аллохтонные* – образующиеся из перемещенных (до десятков километров) деревьев и их фрагментов. Обычно они загрязнены силикатной обломочной примесью, маломощны и экономически не интересны. Между этими крайними генетическими типами есть переходы, например в результате местной или «внутренней аллохтонии» – перемещения фитофрагментов внутри болота или озера – формируются «гемиавтохтонные», или полуавтохтонные, угли, и это сразу отражается на их повышенной зольности и строении.

Скорости роста торфяников большие – 0,5–2 мм/год, причем верховые торфяники растут несколько быстрее низинных в тропической влажной зоне скорость роста в 2–3 раза больше, например на о. Калимантан – 3–4 мм/год, т. е. 1 м за 300–400 лет.

Торф со временем сильно уплотняется, скорость и величину уплотнения можно подсчитать по степени сжатия по сравнению с несжимающимися ранними минеральными конкрециями или склеротинитовыми тельцами. Лесной торф уплотняется меньше (в 7–10 раз до достижения стадии каменных углей), а тростниковый, или гиттия (сапропель), – до 20 раз. Часто принимают соотношение 6:3:1 между мощностями торфа (очевидно, достаточно зрелого, в значительной степени самоуплотнившегося), мягкого бурого угля и каменного угля (Штах и др., 1978). Возраст большинства торфяных залежей европейской части России и Западной Сибири 10–12 тыс. лет (время освобождения от ледника), а мощность торфяников – 10 м и больше (Голицын, Голицын, 1989).

После седиментации в торфе, обычно в анаэробных условиях, под воздействием бактерий и других многочисленных микроорганизмов происходит глубокое преобразование растительной массы по типу как открытой системы (сингенез), так и существенно закрытой системы (диагенез). В результате биохимических изменений из лигнино-целлюлозных тканей образуются гуминовые кислоты (**гумификация**), которые переходят в коллоидное состояние – гели (**гелификация**), впоследствии затвердевающие и образующие витринит. Вообще в настоящее время существует концепция о двухстадийном формировании витринита. Первая стадия диагенетическая, или торфяно-буроугольная, где развиваются процессы низкотемпературной гелификации (набухания, пептизации, микробиологической дезинтеграции и коллоидированию) и гумификации (формирование гуминовых кислот). Основное условие гелификации на этой стадии – пребывание растительных остатков в водной среде или влагонасыщенной среде без доступа кислорода. Основные условия гумификации – микробиологическая деятельность торфяной стадии. В гумолитах первой стадии углефикации (торфа, бурые угли) в группе витринита преобладают телиниты (ксилиниты и лигниты) и атритито-витриниты при подчиненном значении коллинита (однородного витринита).

Условия образования других ветвей гумитов – фюзенитовых углей восстанавливаются с меньшей определенностью. **Фюзенизация** – процесс обуглевания в результате окисления – разложения материала высших растений в условиях активного кислородного обмена и дефицита влаги. В результате этого процесса образуются мацералы группы инертинита (семифюзенит, фюзенит).

В современных (и погребенных) торфяниках находки фюзинитоподобных веществ редки, поэтому полных аналогий с существующими торфяниками нет. Основываясь на петрографических данных (отчетливая клеточная структура древесины, порой со следами годовых колец), как и в случае с витринитом, можно говорить о связи фюзинитов преимущественно с продуктами преобразования тех же лигнино-целлюлозных тканей. Получается, что один и тот же исходный материал дает в одних случаях витринитовые, а в других – фюзенитовые угли, весьма различающиеся по многим признакам. Причину двойного характера превращения единого материала объясняют неодинаковыми условиями торфообразования и (или) последующими процессами углефикации.

Вопрос о происхождении мацералов группы инертинита до сих пор остается дискуссионным. Так в настоящий момент, существует три точки зрения: 1) фюзиниты, согласно старой немецкой гипотезе, являются следствием лесных пожаров в древних торфяниках; 2) фюзенизация – отличный от гелификации процесс изменения растительной ткани в торфяниках, связанный с условиями аэрации, большим доступом кислорода и, соответственно, большим проявлением низкотемпературных окислительных реакций, что приводило к обугливанию исходного материала (это более распространённое мнение); однако, такой фюзенит, в отличие от однородного черного фюзенита, образовавшегося в результате лесного пожара, бывает неравномерно окисленным, и вследствие этого наряду с черными часто наблюдаются коричневатые и коричнево-бурые участки (мацералы группы семивитринита) даже в пределах одного и того же растительного фрагмента; 3) подводное (биохимическое) окисление, протекающее под действием анаэробных микроорганизмов, такое окисление связано с изменением кислотности среды, оно носит избирательный характер.

Элювиация – еще один процесс образования углей. Это привнос или вынос из торфяников коллоидных продуктов проточными водами. То есть на месте торфо-накопления сохраняются стойкие к окислению липоидные мацералы. Механизм избирательного накопления исходного материала липтинитовых компонентов связывают с интенсивным микробиологическим разложением и окислением растительных остатков в торфяниках с проточным режимом, который обеспечивает привнос кислорода текучими водами и одновременно вынос продуктов разложения лигнино-целлюлозных тканей. Согласно другому предположению, исходные залежи будущих липтобиолитов образуются путем переноса (в том числе ветром) и отложения материала в водной среде.

Отдача, в результате отжима и самоуплотнения, воды и газов (CO_2 , CH_4 и др.) приводит к сокращению объема, мощности и обогащению углеродом фитофрагментов. Торф переходит в бурый уголь, а диагенез сменяется катагенезом.

На стадиях катагенеза (происходит высокотемпературная гелификация или собственно витринизация) биохимические процессы сменяются физико-химическими, а главными факторами становятся температура и давление. Таким

образом, преобладают процессы термической деструкции органического материала с одновременной рекомбинацией и гетерополиконденсацией химических соединений. Основные условия витринизации – постепенное повышение температуры при наличии гидростатического давления вышележащих пород. В течение десятков и сотен миллионов лет совершаются медленные, но глубокие структурно-молекулярные изменения вещества угля – **углефикация**, т. е. «метаморфизм» угля. Поскольку это в основном не метаморфизм в современном узком (строгом) смысле, а лишь преобразования на стадиях катагенеза и метагенеза, т. е. еще в рамках литогенеза, правильнее трактовать как «углеметаморфизм» или «ранний метаморфизм погружения», совершающийся как «региональный метаморфизм». Такие условия способствуют последовательному протеканию комплекса физико-химических реакций с образованием в ископаемых углях ценных технологических свойств (спекаемость), носителем которых является в основном витринит. Напротив, высокая скорость воздействия температуры на органический материал (например, воздействие магматических интрузий), по-видимому, изменяет ход течения физико-химических реакций, в результате чего спекающие свойства витринита снижаются или полностью исчезают. Но магмометаморфизм (теплом магматического очага) приводит к появлению на контакте с магмой кокса и графита. Динамометаморфизм больше портит уголь, чем создает его.

При углефикации, фактически создающей основные типы углей, увеличиваются отражательная способность, плотность, крепость, содержание углерода, оптическая анизотропия, теплота сгорания и уменьшаются выход летучих, влажность, пористость, разнообразие химических типов, люминесценция, содержание веществ, растворимых в KOH, HNO₃ и других растворителях. Изменение этих параметров и свойств часто происходит скачкообразно, что позволяет наметить границы стадий и подстадий.

Основная причина углефикации – рост температуры. Действует «закон Хильта»: степень метаморфизма углей увеличивается с глубиной (т. е. с ростом температуры), и градиент степени метаморфизма зависит от геотермического градиента (и обратно пропорционально – от теплопроводности пород).

Температура, необходимая для превращения углей в антрациты, видимо, не достигается (или достигается редко) при обычном погружении слоев на глубины свыше 10 км (температурный градиент 3–4 °C/100 м). Все чаще устанавливается (Япаскурт, 1989 и др.), что дополнительное тепло (необходимую температуру 300 °C) давали скрытые интрузии для образования антрацитов, которые возникли на глубине всего 2–3 км. Для образования каменных углей достаточна температура 100–150 °C

Давление в основном, видимо, замедляет химические реакции при углефикации, в частности мешает оттоку летучих. Оно лишь способствует упорядочению молекул и росту анизотропии, что можно назвать «физико-структурной углефикацией» (табл. 1.4, 1.5).

На всех стадиях преобразования ОВ выделяются газовые и жидкие флюиды, которые мигрируют в направлении уменьшения давления, взаимодействуют друг с другом и с силикатным веществом, окисляются, полимеризируются, выделяют твердую фазу, остающуюся в виде жил, цемента и послойных концентраций. Это органофлюидолиты, и в них устанавливаются практически все стадии углефикации.

Таблица 1.4

Шкала катагенеза и температуры углефикации (Н.Б. Вассоевич, А.Э. Конторович)

Зона	Подзона	Града-ция	ПОВ на верхней границе градации		Марка угля	Температура углефикации, °С
			R _a , %	R _o , %		
К а т а г е н е з	Протока-тагенез	ПК ₁	5,7	0,24	Бурые Б ₁	От Б ₁ до Б ₃ >35 до 90-100 Б ₃ →Д от 100 до 125
		ПК ₂	6,0	0,30	Б ₂	
		ПК ₃	6,6	0,40	Б ₃	
	Мезокагагенез	МК ₁	7,0	0,50	Движнола- мельные	Д→Г от 125 до 140
		МК ₂	7,5	0,62	Газовые	Г→Ж от 140 до 170
		МК ₃	8,5	0,94	Жирные	Ж→К от 170 до 195
		МК ₄	9,1	1,17	Кислые	К→Ос от 195 до 225
		МК ₅	10,0	1,60	Оттошенные	Ос→Т от 225 до 245
	Апоката-генез	АК ₁	10,8	2,00	Тощие	Т→А ₁ от 245 до 265
		АК ₂	11,6	2,50	Антрациты А ₁	А ₁ →А ₂ от 265 до 285
Мегагенез		АК ₃₊	>13,0	>3,40	А ₂ А ₃₊	А ₂ →А ₃₊ от 285 до 300-350

Таблица 1.5

Процессы образования ископаемых углей

	Наименование процессов	Отношение к кислороду	Отношение к воде	Сущность про-цесса заключа-ется	Образующиеся по-роды
Этим процес-сам подвер-гаются пре-имущественн о наземные и болотные растения	происходит тление	в присут-ствии кис-лорода		в полном окисле-нии (H ₂ O, CO ₂ , SO ₃)	не остается никаких горючих углерод-содержащих про-дуктов
	происходит перегнивание	в присут-ствии меньшего количества кислорода	и в присутствии влажности		
	происходит оторфенение	вначале в присут-ствии, а затем без доступа кислорода	вначале в при-сутствии влаж-ности, а затем в застаивающей воде	главным об-разом в перегонках	Обуглероживание твердые со-единения, да-ющие богатые угле-родом углеводороды

	Наименование процессов	Отношение к кислороду	Отношение к воде	Сущность процесса заключается	Образующиеся породы	
Этому процессу подвергаются преимущественно настоящие водные организмы	происходит гниение	без доступа кислорода	в застаивающейся воде	в восстановлении	Битуминизация	Сапропель твердые соединения, дающие более бедные углеродом (более богатые водородом) углеводороды

Таким образом, подтверждается гипотеза М.В. Ломоносова, высказанная им сначала в 1763 г. («Слои земные»), а потом в 1778 году и получившая широкое признание как *теория превращений*: торф, бурый и каменный уголь и антрацит произошли из одного и того же исходного материала – растительных остатков и являются разными стадиями их превращения; уголь образуется из торфа путем его обугливания без доступа кислорода в условиях присутствия влаги, давления вышележащих слоев и повышенной температуры. Это подтверждено как геологическими фактами, так и экспериментами.

Способ образования **сапропелитов и горючих сланцев** в основном *планктоногенный*: исходными являются тела фито-, отчасти зоопланктона с тем или иным количеством атрита высших растений, снижающих содержание водорода. Сланцы образуются также и почти автохтонно – из крупных тел водорослей подводных лугов, т. е. из фитобентоса.

Постседиментационное преобразование *пелагена* (достигших дна озера или моря тел планктонных организмов) повторяет в общих чертах син- и диагенетические процессы макрофитогена при образовании торфов и бурых углей. На стадии ила в анаэробных или в слабоокислительных условиях преобразование осуществляют личинки насекомых, черви, моллюски и микроорганизмы, а в более глубоких слоях – в основном бактерии, которые начинают погибать при температуре + 80 °С. Биохимическое преобразование сменяется химическим и физико-химическим. Сформировавшееся нерастворимое ОВ (кероген) начинает преобразовываться под действием температуры и давления. В отличие от ОВ углей, кероген содержит большое количество алифатических, т. е. открытых, не замкнутых в кольца, цепей углерода и водорода, и на стадиях жирных и коксовых углей (когда сильно меняется и внутренняя структура углей) они разрываются, расщепляются с выделением большого количества газовых и жидких углеводородов (УВ), мигрирующих в вышележащие слои, в которых образуют месторождения нефти и газа. Оставшаяся на месте органика, лишенная большей части летучих и обогащенная углеродом, становится почти неотличимой от угольной высокими степенями метаморфизма.

Описанный выше процесс разложения низших растительных остатков под слоем воды с образованием сапропеля и формирования битумов в витрините называется **битуминизацией**, которая происходит в водной восстановительной среде озер, мелких морей при активном участии анаэробных бактерий и $Ph = 7-8$.

Выше в таблице 1.5 приведены процессы формирования гумусовых и сапропелевых углей.

ЧАСТЬ 2. МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ УГЛЕЙ

Макроскопическое описание основано на характеристике внешних признаков ископаемых углей. Для этого используется коллекция углей, бисквиты, шкала Мосса, микротвердометр ПМТ-3М (для определения микротвердости рудных минералов и углей).

Ко внешним признакам углей или их физическим свойствам относятся: удельный вес, цвет угля, цвет черты, излом, твердость, блеск, хрупкость, структура, текстура, отдельность.

Удельный вес – свойство угля, зависящее от следующих факторов: петрографического состава, содержания минеральных примесей, содержания влаги, природы угольного вещества, степени метаморфизма (табл. 2.1).

В одном и том же пласте, как правило, наименьшим удельным весом обладают блестящие (витреновые и клареновые), а наибольшим – матовые (дюреновые) угли. В свою очередь, фюзеновые угли обладают самым низким удельным весом. Исключение из этого правила редки и обусловлены повышенным или пониженным содержанием минеральных примесей. В этих случаях, удельный вес зависит от количества и состава минерального вещества.

Таблица 2.1

Зависимость удельного веса от вещественного состава

Угольное вещество	Удельный вес
Торф	1,05
Бурый уголь	1,25-1,26
Каменный уголь	1,27-1,35
Антрацит	1,36-1,50
Углистые сланцы	1,4-1,7
Горючие сланцы	1,7-2,2

Цвет угля изучается в его сухом состоянии. Зависит от природы угольного вещества (гумусовый уголь, сапропелит), степени метаморфизма, содержания минеральных примесей и петрографического состава.

Бурые угли низкой степени углефикации окрашены в светлые коричневатобурые иногда желтовато-коричневые тона. Более сильно метаморфизованные бурые угли имеют темно-бурый до смоляно-черного цвета. Каменные угли имеют преимущественно черную, иногда темно-серую окраску. Антрациты нередко имеют серо-стальной цвет с желтоватым оттенком. Сапропелиты окрашены в желтоватый, зеленовато-бурый до черного цветов.

Наличие в угле большого количества минеральных примесей снижает интенсивность окраски и придает сероватый цвет.

Цвет черты. Различие в цветовых оттенках угольного вещества значительно резче проявляется в черте, получаемой на фарфоровой пластинке – бисквите.

Сапропелиты имеют черту желтого, зеленовато-желтого и коричневого цветов, иногда с легким буроватым оттенком. Цвет черты бурых углей колеблется в пределах буро-коричневых оттенков. При этом цвет черты угля всегда светлее его цвета в куске. Цвет черты каменных углей изменяется от длиннопламенных к антрацитам. По этому признаку Л.И. Сарбеева выделяет шесть групп углей (табл. 2.2).

Номер группы	Содержание летучих компонентов, %	Цвет черты
1	41-49	Коричнево-бурый
2	35-40	Коричневый
3	18-30	Темно-коричневый
4	12-70	Черный (слегка сероватый)
5	5-11	Темно-серый
6	1-4	Интенсивно-черный бархатистый

Излом. Под изломом принято понимать характер поверхности, получившейся в результате разламывания не по основным плоскостям отдельности или наслоения. Различают следующие типы изломов: землистый, раковистый, занозистый, волокнистый, угловатый, неровный (неправильный).

Землистый (рис. 2.1а) излом встречается у молодых бурых углей, лишенных цемента и имеющих рыхлое строение, а также у выветрелых (сажистых) углей, утративших связность и плотность в результате окисления.

Раковистый излом (рис. 2.1б) – наиболее распространенный среди углей однородного состава встречается, как у блестящих разностей, так и наиболее матовых. Угли с раковистым изломом разламываются по выпуклым концентрическим поверхностям, в форме раковин.

Волокнистый излом (рис. 2.1в) наблюдается у фюзенитового угля, то есть обугленной растительной ткани, сохранившей черты первоначального строения. Характерен для многих лигнитов бурых углей.

Занозистый (рис. 2.1г) излом близок к волокнистому и встречается среди представителей углей, которые содержат крупные включения полуразложившихся растительных тканей.

Угловатый (рис. 2.1д, 2.1 е) излом типичен для углей с хорошо развитой тонкопластинчатой эндогенной отдельностью. Для него характерна ступенчатая поверхность.

Неровный (неправильный) излом (рис. 2.1д) встречается у большинства плотных углей с крупными размерами эндогенной отдельности.

Твердость определяется по шкале Мооса в пределах от 1 до 3. Бурые угли более мягкие, сапропелиты и антрациты тверже.

Из-за хрупкости углей достаточно сложно определить правильную твердость с помощью шкалы Мооса. Поэтому определяют твердость свежедобытого угля на специально изготовленных и шлифованных кубиках со стороной 20 мм прибором микротвердометром ПМТ-3М. Прибор оборудован фотоэлектрическим окуляр-микрометром ФОМ-2 для быстрого подсчета микротвердости. Результат выдается в кгс/мм².

Наиболее твердым оказывается фюзенитовая составляющая угля, менее твердой является витринитовая.

Хрупкость угля имеет связь со степенью метаморфизма, составом исходного материала, содержанием минеральных включений и условиями накопления. Выражается в способности угля оказывать противодействие раздавливанию.

Блеск. У ископаемых углей следует учитывать характер и степень блеска.



а

Землистый излом. Бурый уголь



б

Раковистый излом. Каменный уголь



в

Волокнистый. Фюзенитовый каменный уголь



г

Занозистый излом. Каменный уголь



д

Неровный, угловатый излом. Каменный уголь



е

Угловатый, ступенчатый излом. Каменный уголь

Рис. 2.1. Разновидности изломов ископаемых углей



а

Сильный металлический блеск с желтоватым оттенком. Антрацит



б

Яркий стеклянный блеск. Каменный уголь



в

Стеклянный, жирный блеск. Каменный уголь



г

Шелковистый блеск. Каменный уголь



д

Жирный блеск. Богhead



е

Смолистый блеск. Каменный уголь

Рис. 2.2 Характер и степень блеска углей

По *характеру блеска* различают угли со следующим типом блеска: металлический (антарциты) (рис. 2.2а); ярким стеклянный (тощие и паровично-спекающиеся угли) (рис. 2.2б); стеклянный (коксовые) (рис. 2.2в); шелковистый (кеннели и волокнистые угли) (рис. 2.2г); жирный (некоторые сапропелиты) (рис. 2.2д); смолистый (длиннопламенные и тяготеющие к ним бурые угли) (рис. 2.2е).

Многие сапропелиты и большинство бурых углей либо вовсе лишены блеска (землистые бурые угли), либо обладают слабым матово-жирным блеском. Таким образом, по характеру блеска можно установить как происхождение (гумусовые угли, сапропелиты), так и степень метаморфизма (марочный состав).

По *степени блеска* угли подразделяются на: матовые, полуматовые, полублестящие, блестящие. Если признак характера блеска можно, в какой-то мере, считать абсолютным, то понятие степени блеска вполне относительно, так как шкала блеска углей любого бассейна может быть условно разделена на указанные отрезки независимо от ее диапазона. Степень блеска зависит от петрографического состава углей и процентного содержания минеральных примесей.

Текстурные и структурные особенности углей. Угли в основном неоднородны, а состоят из нескольких частей (ингредиентов), которые на плоскостях, перпендикулярных наслоению, различаются невооруженным глазом. Ингредиенты могут иметь форму вытянутых линзочек, слойков или полосок. Ингредиенты, или как часто их еще называют, литотипы, описаны выше, и среди них выделяют дюрен, кларен, фюзен и витрен.

Простые ингредиенты представляют единые растительные фрагменты, состоящие в основном из одной группы мацералов, например, витринита (блестящий) или фюзенита (матовый). Сложные ингредиенты залегают в виде полос, штрихов и т. д.; они состоят из нескольких групп мацералов – двух, трех, четырех и более.

Итак, под ***макроструктурой*** (Гинзбург, Жемчужников, 1975) в угольной петрографии понимается сочетание видимых невооруженным глазом в вертикальном изломе углей различных по величине, форме и вещественному составу ингредиентов (составных частей).

Но если согласовывать с общей петрографической терминологией, то появляются некоторые разногласия в выделениях видов текстур и структур. То есть текстурные определения рассматриваются в углепетрографии и как структурные, например, однородные, неоднородные, полосчатые и др. Причина в том, что строение и распределение компонентов в углеродистых породах отличается от обычных пород. А также в связи с развитием диагностирования углей с помощью оптического и углехимического методов, изучение текстуры и структуры углей на макроскопическом уровне утратило свою ценность, и соответственно данному виду исследования не уделяется должного внимания.

По макроструктуре (табл. 2.3) все угли подразделяются на две группы: однородные и неоднородные, или полосчатые. «Однородность» и «полосчатость» – термины, указывающие на разнородный состав угля, а не только на расположение составных частей в виде полос.

Элементы макро- и микроструктуры, как правило, не совпадают. Однородный по внешнему облику уголь обычно имеет сложный вещественно-петрографический состав.

Под ***микроструктурой*** понимают сочетание, распределение и соотношение микрокомпонентов в ископаемом угле. Более подробно микроструктура рассмотрена в главе микроскопического исследования угля в проходящем свете.

Распределение гумусовых углей по макроструктуре (Гинзбург, Жемчужников, 1960)

Род углей по количеству составных частей (ингредиентов)	Вид углей по характеру ингредиентов	Разновидность углей по толщине включенных ингредиентов	Примечание
Однородные (рис. 2.3 а) (один ингредиент) Неоднородные (не менее двух ингредиентов)	Однородные (один сложный ингредиент) Полосчатые (один сложный ингредиент и один или два простых) Комплексно-полосчатые (два сложных ингредиента)	– Штриховатая, тонко-, средне- и грубополосчатая Тонко-, средне- и грубополосчатая	– В зависимости от насыщенности основы угля простыми ингредиентами различаются густо-, умеренно-, редкоштриховатые или густо-, умеренно- и редкополосчатые

Штриховатая (рис. 2.3б) структура характеризует неоднородные угли, содержащие, кроме основных составляющих угля, мелкие штрихи, тонкие полосочки другого какого-нибудь ингредиента, например фюзена или витрена. При этом учитывается густота распределения штрихов среди основного вещества угля. По данному признаку можно различить густоштриховатые и редкоштриховатые разновидности углей. По характеру распределения могут быть выделены равномерно-штриховатые и неравномерно-штриховатые угли.

Полосчатыми (рис. 2.3в) называют угли, содержащие крупные включения блестящего (или волокнистого) угля, воспринимаемые на вертикальном изломе кусков виде крупных полос. В зависимости от размеров этих включений, различают тонкополосчатые и грубополосчатые.

Аналогично штриховатым, полосчатые угли также могут подразделяться на редко- и густополосчатые, равномерно- и неравномерно-полосчатые.

Различают *лигнитовую* структуру (рис. 2.3г, д) бурых углей, сохраняющую ясно видимое древесное строение. Такие бурые угли принято называть лигнитами, а их структуру лигнитовой.

Волокнистая структура (рис. 2.3е) в виде вытянутых в одном направлении волокон отличает волокнистый уголь (фюзен). Волокна располагаются по плоскостям наложения угля в виде тонких полосочек, штрихов, линзочек и примазок.

Текстура (сложение) угля определяет характер пространственного расположения и распределения в нем составных частей, вне зависимости от их формы, величины и вещественного состава (Жемчужников, Гинзбург, 1960). Определяющим текстурой признаком является слоистость. Текстуры подразделяются на слоистые и массивные (неслоистые).

Слоистая текстура угля (рис. 2.3в) связана с неравномерностью в отложении угольного вещества и с изменением условий отложения (сложные пласты), вследствие чего произошла замена растительного материала угля минеральными отложениями в большем или меньшем количествах.



а

Однородная структура, массивная текстура. Бог-хед



б

Неравномерно-штриховатая структура. Каменный уголь



в

Неоднородная (неравномерно-полосчатая структура), слоистая текстура. Каменный уголь



г

Неоднородная (лигнитовая) структура, землистая текстура. Бурый уголь (?)



д

Неоднородная (лигнитовая структура), землистая текстура. Лигнит



е

Неоднородная (волокнистая структура), землистая, листоватая текстура. Бумажный каменный уголь

Рис. 2.3. Текстурно-структурные признаки ископаемых углей

Массивная текстура (рис. 2.3а) часто наблюдается у плотных матовых сапропелевых углей. При этом сложении угля нет признаков слоистости и трудно различить вертикальное направление, от горизонтального напластования угля. Массивное сложение объясняется наличием однородных условий образования угля.

Кроме этого, в углях нередко наблюдается *зернистая* (комковатая) текстура, обязанная мелкой комковатости органического материала некоторых матовых углей и листоватая, связанная с накоплением и сплющиванием стеблей и листьев.

Листоватая текстура (рис. 2.3е) присуща кутикуловому «бумажному» углю Подмосковского бассейна, «рогожке» барзасских углей, волонским углям и другим липтобиолитам.

Землистая текстура (рис. 2.3г, д, е) присуща третичным рыхлым бурым углям. Они представлены порошкообразной массой, в которой наблюдаются отдельные куски угля, сохранившие древесинное строение (лигниты). Землистая текстура встречается также среди гумусовых сажистых окисленных углей Подмосковского бассейна, где наблюдается также плитчатая текстура, образовавшаяся в результате вторичных воздействий на уголь.

Отдельность и кливаж угля. Отдельностью угля называется способность его разделяться или раскалываться по плоскости наслоения и по трещинам кливажа. Различают эндогенную и экзогенную отдельности.

Группа параллельных трещин, не совпадающих с первичной слоистостью (текстурой), называется кливажем.

Эндогенная (первичная) отдельность вызвана изменением вещественного состава угля, в связи с явлениями обуглероживания и метаморфизма, с уменьшением объема и с сокращением массы вследствие внутренней перегруппировки частиц угля. Образование эндогенных трещин относят к действию первичных эндогенных сил. Отличительной особенностью эндогенных трещин является перпендикулярность их к поверхности наслоения. Они присущи блестящему углю и не затрагивают при этом матового угля.

Примерами эндогенной отдельности угля являются:

а) пластинчатая отдельность, нормальная к плоскости напластования, большей частью развита очень слабо вследствие статистического давления вышележащих пород – разделяет уголь на пластины. На рис. 2.4 показана пластинчатая отдельность по Г.А. Иванову, где *а*, *б*, *в* – последовательные проявления эндокливажа; p_1 , p_2 – направление сил внутреннего стяжения.

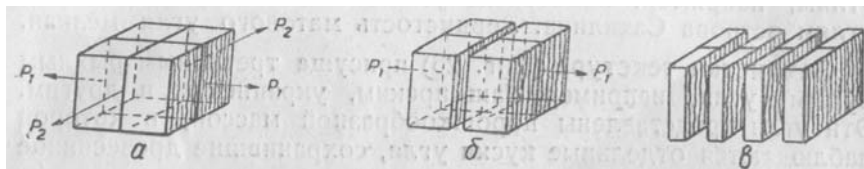


Рис. 2.4. Пластинчатая отдельность угля, по Г.А. Иванову

б) две другие системы эндогенных трещин перпендикулярны первой, то есть плоскости напластования, и взаимно-перпендикулярны друг другу. При этом одна из них обычно развита более сильно, чем другая и носит название основной. Поверхности, образующиеся при расколе угля вдоль более крупных трещин, носят

название основных поверхностей отдельности, в отличие от перпендикулярных им торцовых поверхностей отдельности.

Наиболее крупные размеры эндогенной отдельности (от 2 до 5-10 см) наблюдаются у длиннопламенных углей (рис. 2.5). По мере приближения к коксовым, они постепенно уменьшаются до 1 мм и затем снова закономерно возрастают на отрезке метаморфизма от коксовых углей до антрацита (от 1 до 5 см).



Рис. 2.5. Эндогенная параллелипедальная отдельность

Экзогенная (вторичная) форма отдельности возникает в связи с тектоническими движениями.

Наклон трещин отдельности к плоскости напластования различен и зависит от направления действующих сил.

Поверхности отдельности имеют штриховатость и струйчатость зеркала скольжения, образованные в результате некоторого перемещения, срезания и скалывания вещества угля.

Кливаж связан не с растяжением, а со сжатием, при котором происходит скалывание или срезание угля. На рис. 2.6 показано образование гребенчатой отдельности по Г.А. Иванову и последовательные проявления экзокливажа, где: p_1 p_2 – направление внешних сил давления под влиянием тектонических движений; 1, 2, 3, 4, 5 – поверхности скольжения и образование отдельных полос угля.

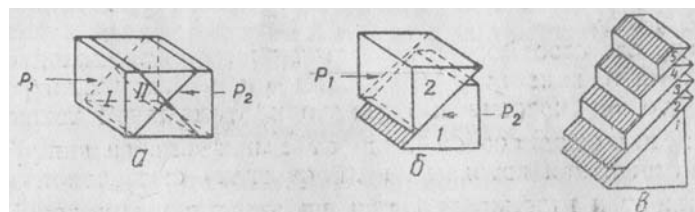


Рис. 2.6. Образование гребенчатой отдельности, по Г. А. Иванову

Экзогенная отдельность (рис. 2.7) также образована несколькими системами взаимно-перпендикулярных трещин, одна из которых обычно расположена под углом, близким к 45° к плоскости напластования. Остальные системы образуют угол аналогичной величины с двумя другими системами трещин эндогенной отдельности.

Явление экзогенной отдельности в углях обычно развито в местах с интенсивной складчатостью, то есть в местах динамических давлений.



Рис. 2.7. Экзогенная ромбическая отдельность

Трещины кливажа угля имеют важное значение при разработке угольных месторождений. Направление и характер трещин кливажа определяют производительность горных машин, характер отбойки угля, посадку кровли пласта, осушение очистных работ и ряд вопросов техники безопасности ведения горных работ.

ЧАСТЬ 3. МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕЙ

3.1. Микроскопическое исследование углей в проходящем свете

Изучение микроскопического состава углей в проходящем свете осуществляется на микроскопах ПОЛАМ Л-213 М, Альтами ПОЛАР, при этом используется коллекция шлифов с образцами бурых и каменных углей.

Уголь является не простым органическим или минеральным веществом, а представляет собою сложную гетерогенную смесь. Многообразие свойств ископаемых углей определяется главным образом их мацеральным составом и степенью метаморфизма. Важной особенностью ископаемых углей является также наличие в них минеральных примесей, содержание которых колеблется от единицы до 3–4 десятков процентов. Петрографическое исследование углей включает многостороннее изучение вещественного состава в шлифах.

Характерным показателем состава гумусовых углей при петрографическом определении принято содержание наиболее распространенного углеобразующего компонента – гелифицированного вещества (витринита). Дополнительными показателями являются содержание фюзенитовых и липоидных компонентов, структура и текстура угля. Петрография углей тесно связана с палеоботаникой, и условиями преобразования растительных организмов в геологической среде в условиях седиментогенеза, литогенеза, метаморфизма.

Структура компонентов углей, так же как это принято в общепетрографической классификации, определяется их размером и формой (таблица 3.1). Структурными элементами, выделяемыми по размеру, является: фрагменты – частицы крупнее 0,15 мм, аттрит, включающий частицы от едва различимых под микроскопом до 0,15 мм в поперечнике, и гелеобразную массу. По форме компоненты бывают неправильные (обломки, обрывки), линзовидные, комковатые, волокнообразные, вытянутые в виде штрихов и др. Сочетание фрагментов определенного размера и формы приводит к проявлению структурных видов углей.

Таблица 3.1

Микроструктурные виды углей (Шванов, 1998)

<i>Микроструктуры углей по размеру компонентов</i>	<i>Форма компонентов</i>
Фрагментарная: более 80% фрагментов	Линзовидная, полосчатая, неправильных включений (обломки, обрывки)
Аттритово-фрагментарная: 50– 80% фрагментов при значительном содержании аттрита	
Фрагментарно-аттритовая: 50– 80% аттрита при значительном содержании фрагментов	Линзовидно-штриховатая, линзовидно-комковатая
Аттритовая: более 80% аттрита	Штриховатая, неправильно-комковатая
Волокнисто-фрагментарная: сочетание фрагментов с гелеобразной цементирующей массой	Линзовидная и волокнообразная (флюидальная)
Аттрито-волоконистая: сочетание аттрита с гелеобразной цементирующей массой	Неправильно-комковатая и волокнообразная

Мацералы

Мацералы являются мельчайшими единицами вещественного состава углей, которые определяются только под микроскопом; это элементы растительного материала, обладающие – с одной стороны – характерными морфологическими и структурными признаками, а с другой – изменчивыми в результате литогенеза и метаморфизма химическими и физическими свойствами. Классификация мацералов, обобщающая главным образом опыт работы Санкт-Петербургских углепетрографов, приведена в табл. 3.2. В угольном веществе выделены также органофлюиды, представляющие собой бесструктурные нефтеподобные образования вторичной относительно угольных микрокомпонентов природы.

Как видно из таблицы, остатки лигнино-целлюлозных тканей высших растений представлены группами витринита и фюзинита.

В *группу витринита (Vt)* (коллинит, телинит, витродетринит) входят остатки лигнино-целлюлозных тканей высших растений, подвергшиеся гелификации и не обнаруживающие под микроскопом сколько-нибудь ясно выраженных изменений окраски, расцениваемых в качестве признаков фюзенизации.

Таблица 3.2

Группа мацералов и минеральных включений в углях (ГОСТ 9414.1-94)

<i>Группа мацералов и минеральных включений</i>	<i>Мацерал</i>
Витринит Vt	Телинит V _t Коллинит V _{tk} Витродетринит V _{tvd}
Семивитринит Sv	Семителинит S _{vt} Семиколлинит S _{vk}
Липтинит L	Споринит L _{sp} Кутинит L _{kt} Резинит L _r Суберенит L _s Альгинит L _{al} Липтодетринит L _{id}
Инертинит I	Микринит I _{mi} Макринит I _{ma} Семифюзенит I _{sf} Фюзенит I _f Склеротинит I _{sk} Инертодетринит I _{id}
Минеральные включения M	Глинистые минералы Сульфиды железа Карбонаты Окислы кремния Прочие минеральные включения

Мацералы группы витринита могут иметь любую степень сохранности первоначально анатомического строения (ткани растений обычно сохраняются на стадии бурых углей) и любые размеры – от крупных фрагментов до комочков в несколько микрометров. В тонких шлифах в проходящем свете мацералы данной группы имеют яркую окраску, колеблющуюся от желтовато-красных до буро-красных оттенков, в зависимости от степени метаморфизма. Мацералы группы витринита наиболее

распространены относительно других и встречаются в гумусовых углях любого бассейна и любого геологического возраста. Наиболее развиты в блестящих и полублестящих углях класса гелитолитов, но, последовательно убывая, могут быть встречены вплоть до самых матовых разновидностей фюзенолитов, а также липоидолитов. Генетически более всего отвечают фациям сильнообводненных застойных болот, но присутствуют также в углях других фаций.

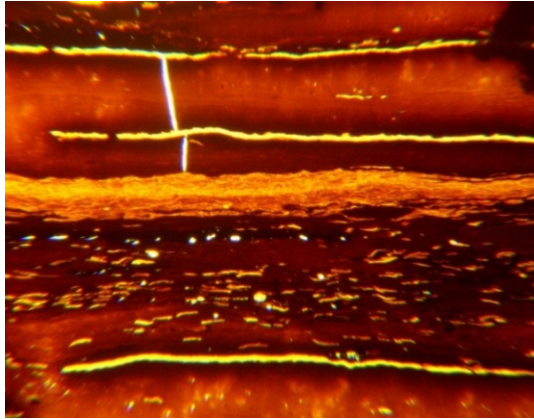
Коллинит (Vt_k) (рис. 3.1а, б) – представляет собой бесструктурный витринит, объединяет микрокомпоненты, которые имеют полную гелификацию тканей растений без сохранения клеточной структуры. В шлифе наблюдается в виде полос, линз, а также встречается в виде круглых мелких тел неизвестной природы, которые принято называть *корповитринитом* (рис. 3.1 д), он отличается от основной витринитовой массы более темным бурым цветом.

Телинит (Vt_l) – структурный витринит, объединяет фрагменты древесины и растительных тканей (схематически структуры растительных тканей представлены в таблице 3.3). Наблюдаются компоненты с яркой ксиленовой и ксиловитреновой (древесной) структурой и годовыми кольцами роста. Также выделяют разновидность телинита, представляющую собой линзы рыхлой паринхимной ткани (листовой), окаймленной желтым зубчатым кутинитом и фелемной (пробковой) ткани (рис. 3.1 в, г).

Таблица 3.3

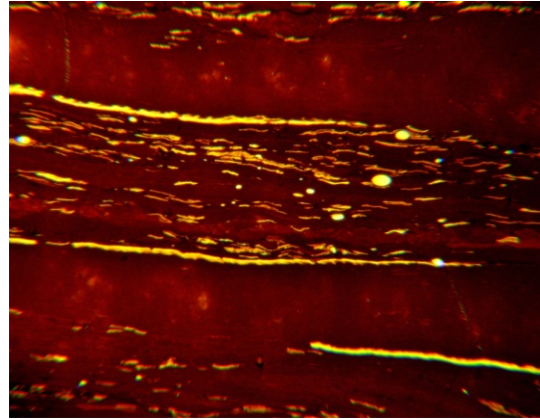
Схематическое изображение структуры растительных тканей

№ п/п	Структура	Цвет в проходящем свете			
		красный	коричневый	черный	
1	Ксиленовая	Фюзенизация →			
2	Ксиловитреновая	Гелификация ↓			
3	Витреновая	Гелификация ↓			
4	Бесструктурная	Гелификация ↓			
5	Зубчатая, волнистая, штриховатая	Цвет в проходящем свете - желтый			



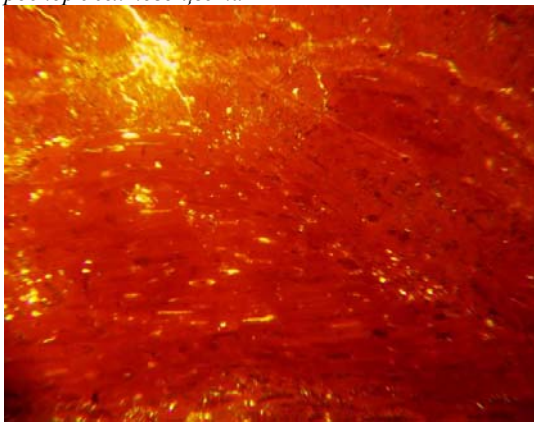
а

Бесструктурный витринит (коллинит) красно-бурого цвета, также кутикулы и скопления микроспор желтого цвета



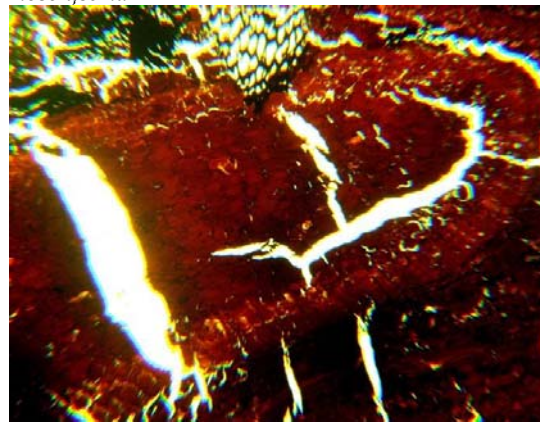
б

Бесструктурный витринит (коллинит) красно-бурого цвета, мацералы группы липтинита желтого цвета



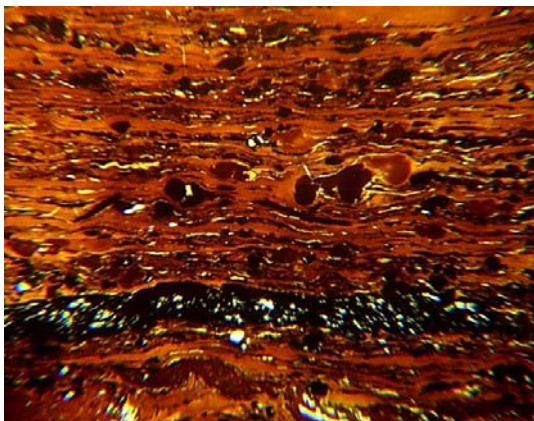
в

Структурный витринит (телинит) оранжевого цвета – древесная ткань (бурый уголь)



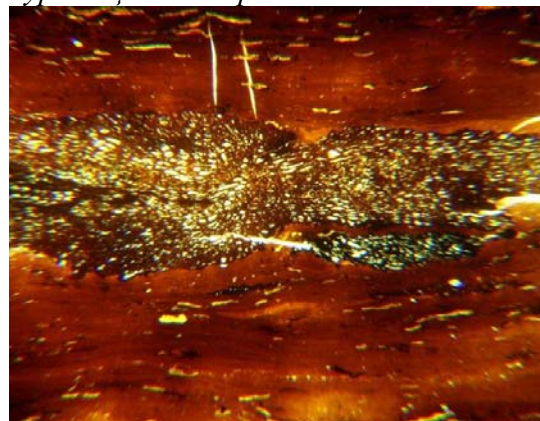
г

Структурный витринит (телинит) бурого цвета – пробковая ткань



д

Корповитринит – округлые выделения более темного бурого цвета, чем основной витринит



е

Семифюзинит – ткань, имеющая клеточное строение, более темного бурого цвета, чем витринит

Рис. 3.1 Каменный и бурый уголь в проходящем свете (группы витринита и семифюзенита)

Мацералы *группы семивитринита (Sv)* (семиколлинит (Sv_k), семителинит Sv_t)), подобно мацералам предыдущей группы, также представляют собой продукты гелификации тканей высших растений, но отличаются от мацералов группы витринита несколько иной окраской под микроскопом. Принято считать, что остатки слагающих их растительных тканей помимо остудневания дополнительно подверглись некоторому окислению, отождествляемому с весьма слабой фюзенизацией. В прозрачных шлифах мацералы группы семивитринита имеют более темные оттенки коричневого и красного, в отличие от мацералов группы витринита. По физическим и химико-технологическим свойствам эта группа занимает промежуточное положение между группой витринита и инертинита, но ближе стоит к группе витринита.

В *группе инертинита (I)* объединены мацералы всех оттенков черного цвета (фюзенит, семифюзенит, склеротинит, инертодетринит, макринит, микринит), образовавшиеся из остатков тканей высших растений, независимо от их размеров, ботанической природы и степени их сохранности. Они подверглись кроме предварительного остудневания, также в той или иной степени выраженному окислению – фюзенизации. Вследствие этого микрокомпоненты группы инертинита имеют в проходящем свете в шлифах различные оттенки от коричневого (семифюзениты) до темно-коричневого, вплоть до черного цвета (собственно фюзениты). Мацералы этой группы имеют клеточное строение. Генетически отвечают фациям слабоувлажненных лесных болот, могут быть встречены в углях других фаций. Часто образование фюзенита связывают с «сухой» аэробной средой или с лесными пожарами.

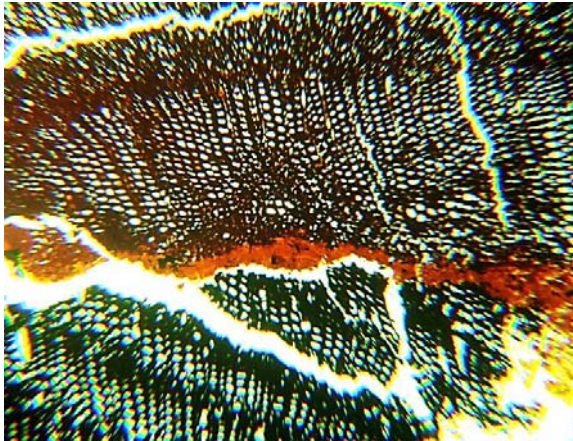
Фюзенит (I_f) имеет черный цвет и ксиленовую структуру и четкие годовые кольца роста. Вторая разновидность представлена овальными телами, которые имеют широкие стенки клеток и крупные клеточные полоски (рис. 3.2).

К группе фюзенита по оптическим свойствам близки остатки низших грибов – в шлифах они имеют густую черно-коричневую окраску из-за присутствия в них хитинсодержащего вещества. Породообразующее значение их невелико, поскольку их содержание в угольном пласте редко превышает 0,5–1,0%.

Склеротинит или грибы паразиты в шлифе имеют черный цвет и форму сетчатых переплетений гифов или округлых тел с ясной ксиленовой структурой и с утолщенным наружным черным кольцом.

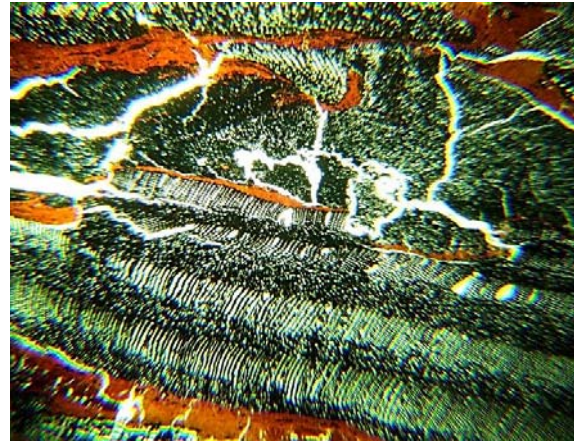
Семифюзенит (I_{sf}) (рис. 3.1e, 3.2a) представляет собой любые остатки растительных тканей, которые помимо остудневания испытали достаточно отчетливо выраженное воздействие процессов фюзенизации. В соответствие с этим мацералы данной группы обнаруживают в тонких шлифах различные оттенки коричневого цвета, темнее мацералов группы семивитринита, а также клеточное строение, характерное для мацералов группы инертинита.

Мацералы невыясненной природы – микринит, макринит и др. – представляют собой скопление мельчайших бесструктурных остатков: растительного детрита, фюзенизированных образований.



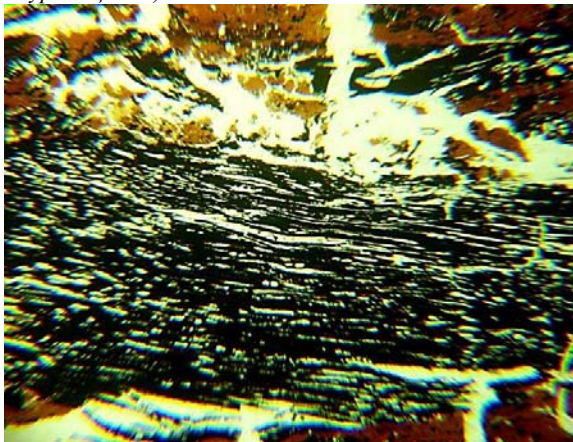
а

Фюзенит (черного цвета) и семифюзенит (темно-бурого цвета)



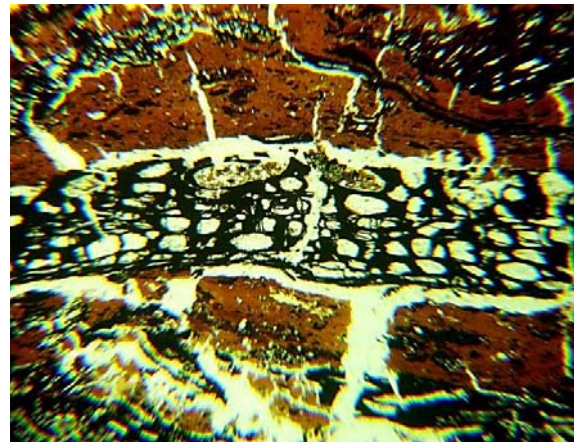
б

Фюзенит с годовыми кольцами



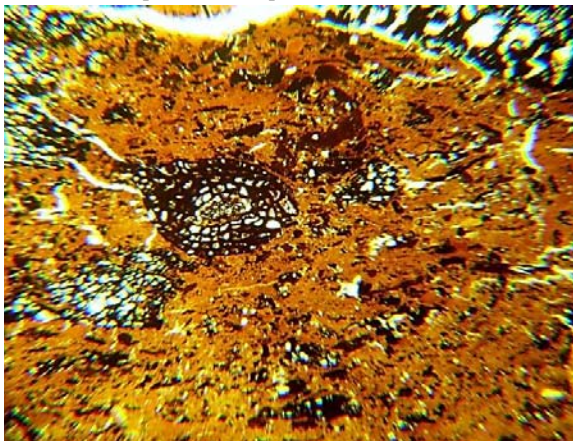
в

Фюзенит. Продольный срез



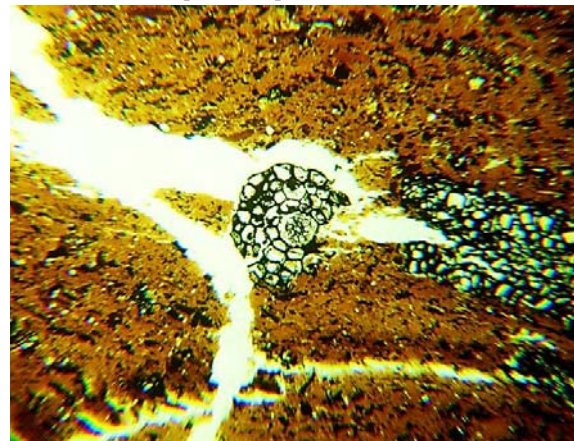
г

Фюзенит. Поперечный срез



д

Фюзенит в виде округлого выделения черного цвета с клеточным строением



е

Фюзенит – округлое выделение, вертикальный срез

Рис. 3.2 Каменный уголь в проходящем свете (группа инертинита – фюзенит, семифюзенит)

В группу *липтинита L* объединяются различные стойкие растительные остатки, выполнявшие в живых растениях защитную роль: оболочки спор и пыльцы, кутикулы, суберенизированные коровые (пробковые) ткани, смоляные тельца, а также альгиниты (остатки колониальных водорослей). В зависимости от природы, условий среды, диагенетического превращения и степени углефикации в шлифах имеют окраску от желтых и оранжевых до оранжево- и буро-красных цветов. За исключением отдельных максимумов, приходящихся на те или иные геологические эпохи, мацералы группы липтинита играют в углях второстепенную роль. Встречаются во многих фациях, но чаще накапливаются в углях фаций проточных болот и в озерно-болотных осадках. Вследствие высокой способности к переносу водой и воздухом мацералы этой группы составляют значительный процент рассеянного органического вещества – РОВ – осадочных пород. Отчетливая видимость сохраняется только до стадии коксовых углей.

Кутинит L_{kt}. Подобно тому, как пробковая ткань коры, пропитанная суберином, покрывает старые стволы и стебли, предохраняя их от высыхания, молодые стебли и листья бывают покрыты другим, еще более стойким веществом – кутикулой (кутином).

Кутикула в шлифах угля отличается от спор угловатым (остроконечным) окончанием соединения сторон (верхней и нижней) листа, вместо закругленной формы у спор. Внутренний край кутикулы имеет форму зубцов, связанных с формой клеток эпидермиса (рис. 3.3).

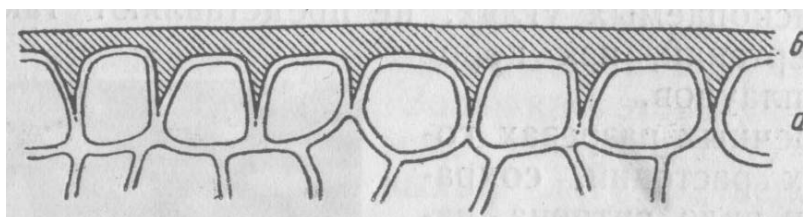


Рис. 3.3. Клетки эпидермиса (Волков Н.А, 1951): а – сохранные стенки клеток; б – зубчики кутикулы

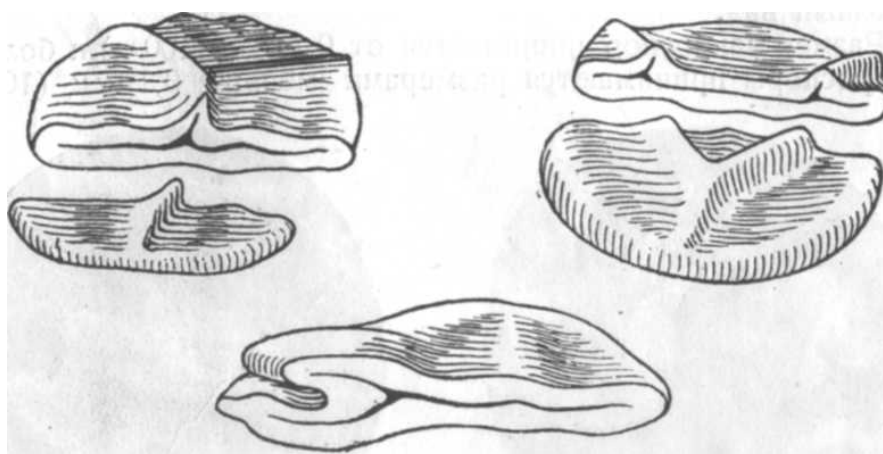
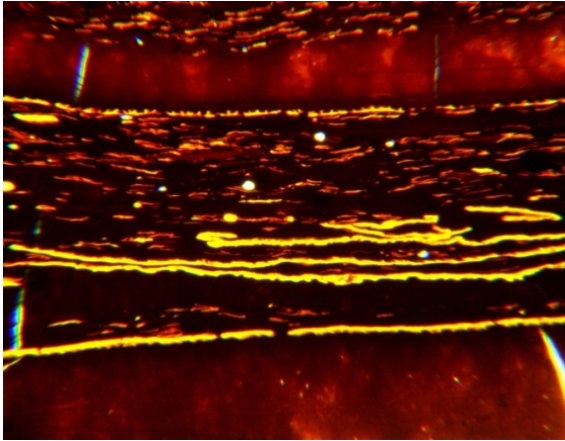
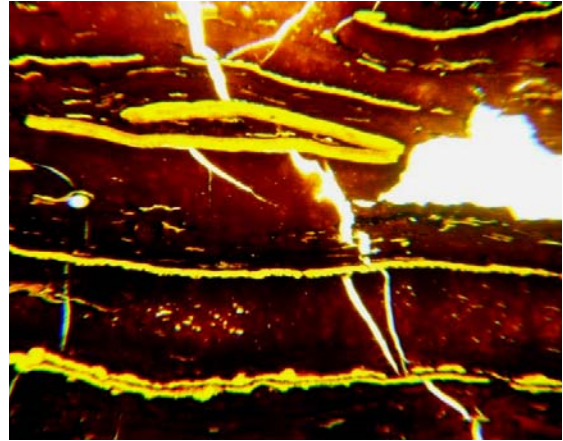


Рис. 3.4. Разрезы макроспор через рубцы (Волков Н.А, 1951)



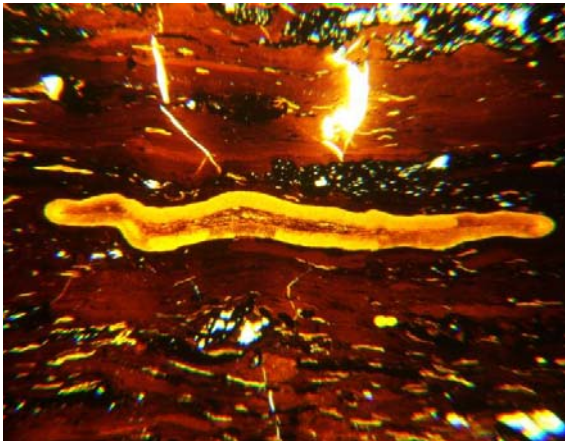
а

Кутикула в виде зубчатых лент, скопление микроспор желтого цвета



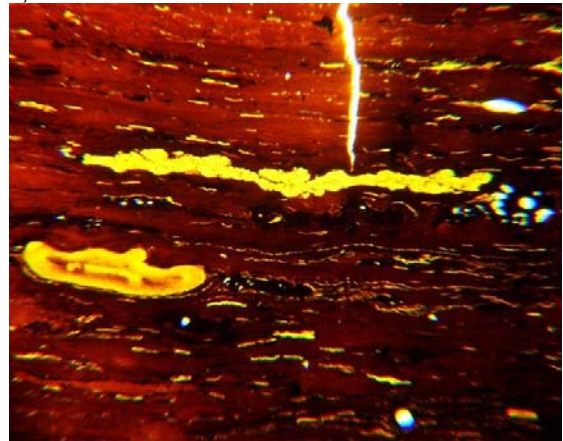
б

Кутикула в виде зубчатых лент, обрывки макроспор, альгинит в виде комковатой массы желтого цвета



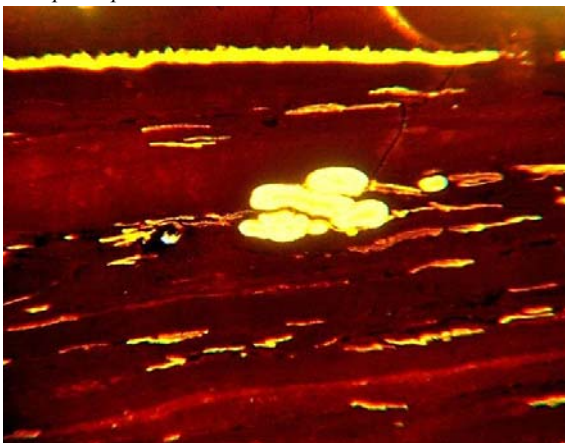
в

Макроспора



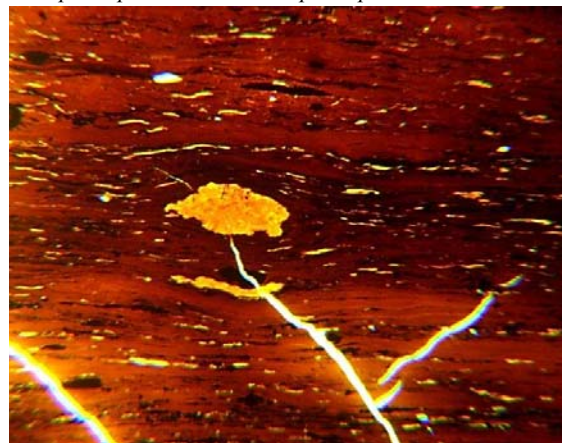
г

Макроспора, скопление микроспор, альгинит



д

Обрывок кутикулы, скопление микроспор



е

Скопление микроспор

Рис. 3.5 Каменный уголь в проходящем свете (группа липтинита)

Споринит L_{sp} – экзин (наружный слой оболочки) макро- и микроспор, состоящие из воскоподобного вещества. По характеру размножения все растения подразделяются на 2 группы – споровые и семенные.

К группе споровых растений относятся папоротники, хвощи и плауны, широко распространенные в палеозое. Споры образуются в специальных вместилищах, или спорангиях, которые имеют вид небольших мешочков (коробочек).

Различают крупные женские макроспоры (мегаспоры) (рис. 3.4, 3.5б, в, г) и мелкие мужские споры (микроспоры) (рис. 3.5а, д, е).

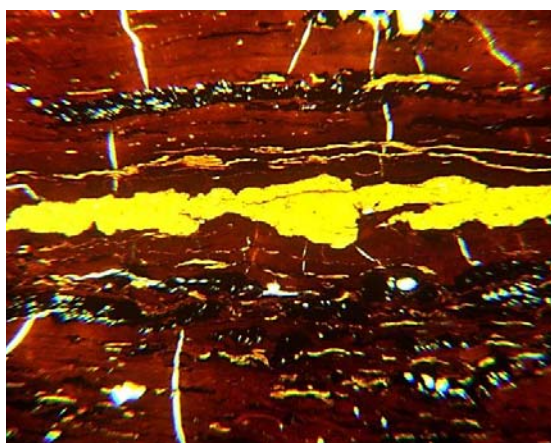
Альгинит – водоросли (L_{al}) (рис. 3.5г, рис. 3.6а) является низкоорганизованными растениями, представляющими собой отдельные слоевища, таллом, без расчленения на стебель и листья. Водоросли, встречаемые в углях, представлены зелеными, сине-зелеными одноклеточными организмами, объединенными в колонии. Группа альгинита включает в себя остатки талломов микроскопических колониальных водорослей (талломоальгинит или телоальгинит) и продукты их конечного разложения в виде бесструктурного гелеобразного вещества коллоальгинита. Талломоальгинит может обладать различной сохранностью первичных тканей и встречается с характерными для того или иного вида очертаниями до овальных и веретеновидных телец, лишенных внутренней структуры. Обычно они представлены тельцами с неоднородным комковатым строением. В шлифах углей низких ступеней углефикации талломоальгинит имеет очень светлую зеленовато-желтую окраску. В углях высоких ступеней углефикации он различим только при скрещенных николях в особо тонких полированных шлифах, где он имеет различные оттенки оранжевого или красного цвета. Коллоальгинит образуется за счет ослизнения низших водорослей, но в той или иной мере содержит также примесь тонкодисперсной глины и продуктов распада низших растений.

В породах с высокой степенью углефикации для диагностики коллоальгинита применяют сочетание различных оптических методов: отраженный белый свет, свет в масляной иммерсии ультрафиолетовый проходящий и отраженный и др., что в сочетании с другими методами используется также для диагностики всех других компонентов углей.

Группа альгинита является углеобразующей в сапропелитах, породообразующей в гумито-сапропелитах и сапрогумитах и встречается в небольших количествах в гумитолитах, образованных в наиболее обводненных обстановках угленакопления. Играет ведущую роль в керогене горючих сланцев. В рассеянной форме альгинитовые мацералы преобладают в рассеянном органическом веществе морских и прибрежно-морских фаций.

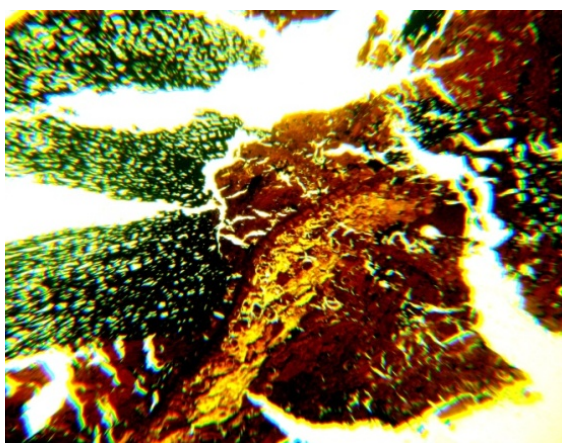
Суберинит L_s - коровая (пробковая) ткань, клетки которой содержат суберин. Встречаются обычно в виде каемок различной толщины, оконтуривающих коровую ткань (рис. 3.6б).

Резинит L_r (смоляные тельца – смолы, копал, камедь, воск) (рис. 3.6в, г) различной формы и величины относятся к остаточным частям высших растений – липтобиолитам. Смоляные тельца представляют собой особые выделения, служащие для предохранения растений от гниения и высыхания. В тонком шлифе они представлены прозрачными телами желтой, золотистой окраски. Они лишены клеточной структуры, чем отличаются от водорослей и спор той же окраски.



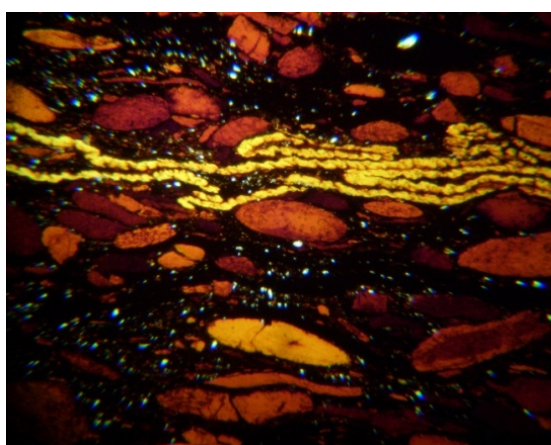
а

Альгинит – желтая комковатая масса



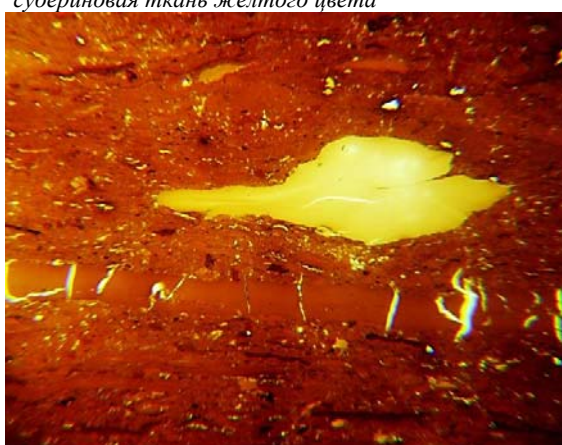
б

Суберинит – сохранившееся межклеточная субериновая ткань желтого цвета



в

Резинит – смоляные тельца от желтого до красного цвета различной формы, кутикула



г

Резинит – светло-желтое смоляное тельце в основной витринитовой массе, коллинит (бурый уголь)

Рис. 3.6 Каменный и бурый уголь в проходящем свете (группа липтинита – альгинит, резинит, суберинит)

Минеральные включения в углях

Минеральные примеси в углях разнообразны, встречаются часто, и их количество варьирует от полного отсутствия до преобладания над угольными компонентами, когда породу уже следует относить к соответствующим некаустобиолитовым образованиям.

Обобщенным выражением количества примесей является плотность (удельный вес или масса). Угли чистые или слабо загрязненные имеют плотность менее $1,5 \text{ г/см}^3$. Угольные минеральные ассоциации с плотностью $1,5\text{-}2,0 \text{ г/см}^3$ называются карбоминеритами. Это соответствует примеси глинистого вещества, кварца или карбонатов в 20-60%.

Наиболее часто в углях встречаются глинистые минералы (каолинит, иллит), сульфиды железа, карбонаты, кварцевые минералы, в торфе – вивианит. А также к более редким минеральным примесям в углях относятся фосфаты группы фторапатита – хорошие индикаторы белковых (альбуминовых) компонентов, т. е. среди карбоминеритов различают: карбоаргиллиты, карбопириты, карбоанкериты, карбосилициты и другие, а также карбополиминериты.

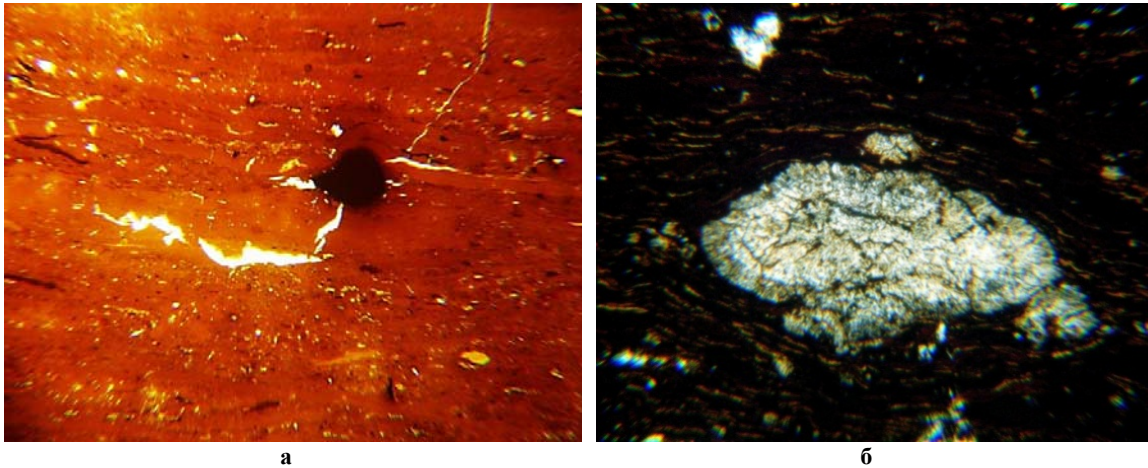


Рис. 3.7 минеральные включения в углях: а – изотропное рудное вещество в буром угле (николи ||), б – карбонатная зональная конкреция в угле (николи ||)

Пирит (FeS_2) является наиболее распространенным минеральным образованием в угле. Размеры включений пирита различны – от микроскопических зерен вкрапленников до конкреций и желваков (рис. 3.7 а). В проходящем свете сульфид изотропный. **Марказит** (FeS_2) наблюдается в пластах угля вместе с пиритом; он не образует, как пирит, сплошных масс, а присутствует в периферических частях конкреций и желвакообразных формах пирита. Марказит определяется по лучистому, копьевидному строению; выветривается сильнее, чем пирит. В шлифах не отличается от пирита. **Халькопирит** (CuFeS_2), медный колчедан отличается латунно-желтым цветом в аншлифах. В шлифах также изотропен.

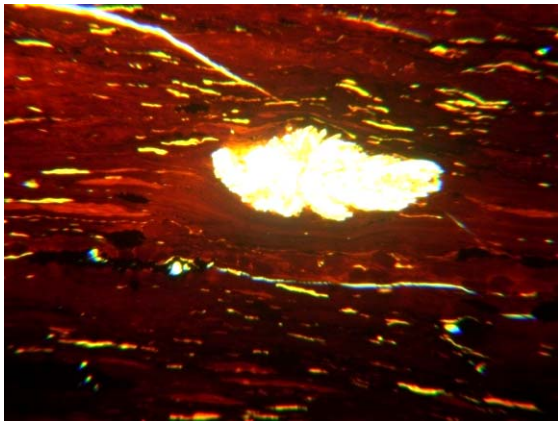
Карбонатные минералы (анкерит, сидерит, кальцит) образуют радиально-лучистые (рис. 3.8 а,б) или концентрически-зональные конкреции (рис. 3.7 б), жилки, также заполняет пустоты межклеточного пространства (рис. 3.8 в, г). В проходящем свете минерал бесцветный, имеет цвета интерференции III-IV порядков.

Кварц присутствует во многих углях аллохтонного накопления и легко определим как в мельчайших зернах, так и в крупных, по волнистому погасанию и по характерной интерференционной окраске 0,009 (рис. 3.7 д, е).

Минеральные образования, встречаемые в твердых горючих ископаемых, имеют форму включений и линз, видимых невооруженным глазом, и тонких вкраплений, определяемых лишь с помощью микроскопа.

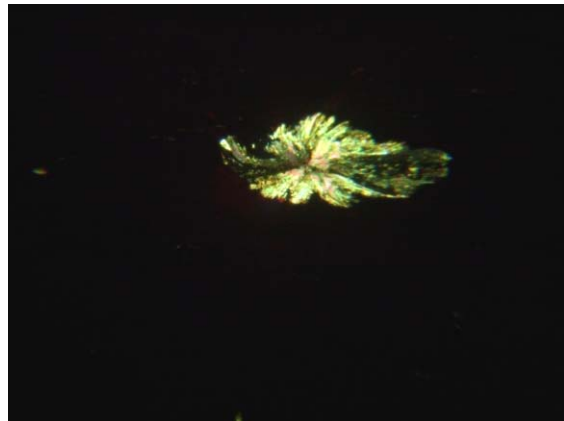
Из многочисленных микроэлементов наиболее часто и в значительных, нередко близких к промышленным, количествах встречается германий и уран. Отмечаются повышенные содержания мышьяка в пирите, серебра в галените. Присутствие бора – индикатор влияния моря.

Минеральные включения в углях подразделяются на сингенетические, образовавшиеся одновременно с угольным-торфяным веществом, и эпигенетические, отложившиеся после образования угольного пласта.



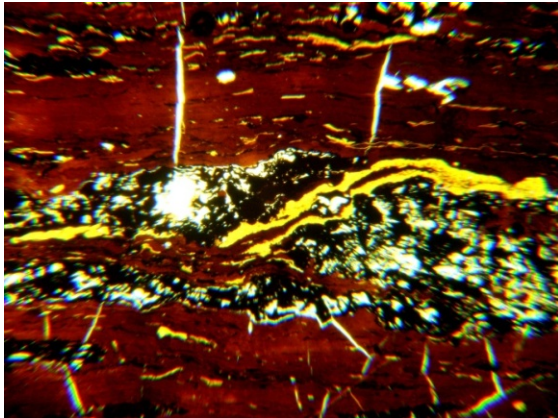
а

Радиально-лучистая конкреция кальцита в каменном угле. Николи ||



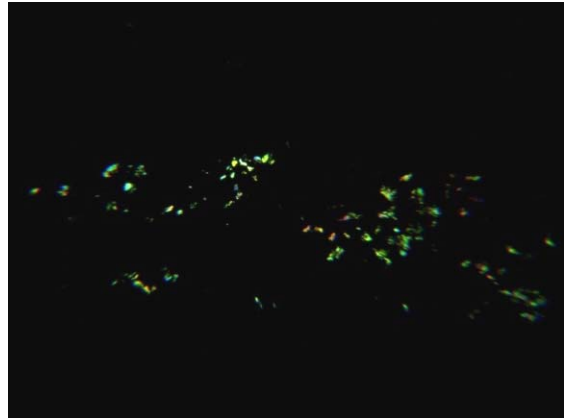
б

Конкреция кальцита. Николи ×



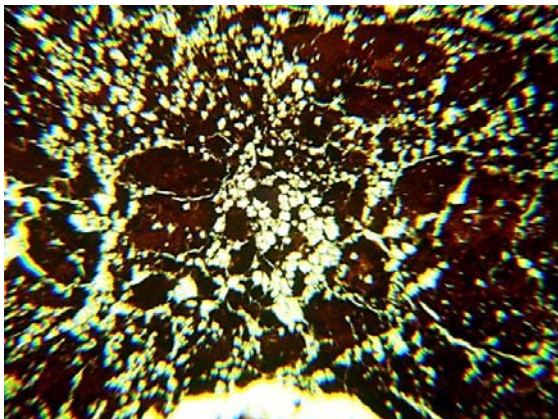
в

Карбонатные минералы, заполняющие межклеточное пространство в фюзените. Николи ||



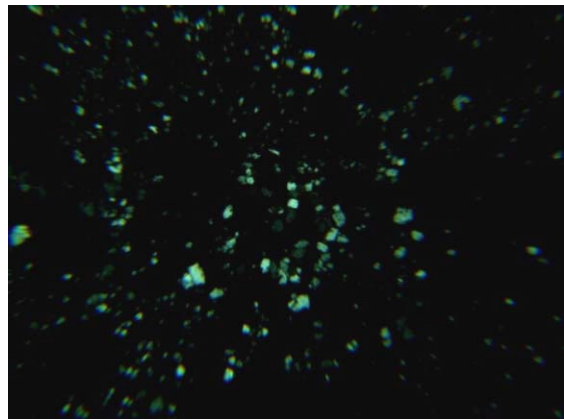
г

Карбонат, заполняющий межклеточное пространство в фюзените. Николи ×



д

Кремнистая углистая порода с большим содержанием кремнезема. Николи ||



е

Кремнистая углистая порода с большим содержанием кремнезема. Николи ×

Рис. 3.8 Минеральные включения в каменных углях

3.2. Микроскопическое исследование углей в отраженном свете

Изучение микроскопического состава углей в отраженном свете осуществляется на микроскопах Полам Р-312 с использованием коллекций аншлифов и аншлиф-брикетов из бурых и каменных углей.

Сначала угли изучали в проходящем свете в обычных шлифах, но из-за непрозрачности многих компонентов углей потребовалось изготавливать все более *тонкие шлифы*, а это очень сложно. В настоящее время максимальная допустимая толщина прозрачных шлифов углей 0,01–0,012 мм (10–12 мкм), а для антрацитов не толще 0,001 мм (1 мкм), что уже в 30 раз тоньше нормального шлифа для горных пород. Кроме того, по прозрачным шлифам количественные мацеральные анализы получаются менее точными, так как к непрозрачному инертниту относят инертдетритины и другие малопрозрачные компоненты, и его количество завышается. Поэтому с развитием *метода анишлифов*, особенно с 1932 г., когда Х. Хоффман и А. Еникер опубликовали свое открытие прямой зависимости отражательной способности витринита (R_v) от степени метаморфизма углей, изучение в проходящем свете стало отодвигаться на второй план. Но и сейчас тонкие шлифы используют, например, по методу З.В. Ергольской (1939), для определения степени изменения ископаемых углей по цвету оболочек спор, кутикулы и смоляных телец.

Изучение *полированных анишлифов* в отраженном свете имеет много преимуществ перед методом прозрачных шлифов: в них различаются все детали строения микрокомпонентов и угля в целом, определяются их состав, микротвердость, микрохрупкость, показатели преломления, величина оптической анизотропии и, самое главное, *показатель отражения* различных микрокомпонентов, а также проводятся флуоресцентный и другие анализы. У метода большие возможности для подсчета компонентов и других количественных оценок. Поэтому он стал основным рабочим методом в углепетрографии. Аншлифы, не покрытые стеклом, изучаются в воздушной среде (определение отражательной способности в воздухе – R_a), но большей частью их покрывают различными иммерсионными жидкостями, например глицерином, касторовым маслом, йодистым метиленом и др. Используют бинокулярный микроскоп для отраженного света с иммерсионными объективами 25–50-кратного увеличения и окулярами 8–10-й кратности. По ГОСТу 12113-83 показатели отражения определяются в монохроматическом свете с длиной волны 546 нм.

1. Группа витринита. Компоненты группы имеют ровную поверхность и серый цвет, который изменяется в зависимости от стадии метаморфизма в сторону светлых тонов. По цвету и рельефу группу витринита принимают за эталон, с которым сравнивают другие мацералы.

Показатель отражения мацералов этой группы в иммерсионном масле R от 0,40 до 4,60% и более. Микротвердость находится в зависимости от степени углефикации, исходного материала и условий угленакопления и колеблется от 200 до 350 МПа. Мацералы группы витринита с показателем отражения 0,64–1,85 переходят в пластическое состояние. Это свойство, также как поведение в процессе коксования, зависит от степени углефикации и восстановленности. Группа витринита включает три мацерала: телинит, коллинит и витродетритин.

Коллинит – бесструктурная витринизированная масса, цементирующая все другие мацералы и минеральные вещества.

Телинит – растительные фрагменты тканей различной степени сохранности и клеточного строения.

Витродетринит – небольшие обломки витринита с угловатыми очертаниями. Размер частиц менее 10 мкм.

2. Группа семивитринита по физическим (по цвету и отражательной способности) и химико-технологическим свойствам эта группа занимает промежуточное положение между группами витринита и инертинита. Мацералы этой группы не имеют рельефа, цвет серый, беловато-серый, но более светлый, чем цвет мацералов группы витринита в данном шлифе. Показатель отражения R_0 колеблется от 0,60 до 2,70%. Микротвердость изменяется в пределах от 250 до 420 МПа. Группа включает два мацерала: семиколлинит, семителинит.

3. Группа инертинита. Характеризуется высоким показателем отражения и резко выраженным рельефом. Цвет от белого до желтого. Микротвердость колеблется от 500 до 2300 МПа. Группа включает шесть мацералов: фюзенит, семифюзенит, макринит, микринит, склеротинит и инертодетринит.

Фюзенит характеризуется наличием клеточной структуры различной степени сохранности. Цвет от желтовато-белого до желтого. Микрорельеф хорошо выражен. Показатель преломления R_0 колеблется от 1,4 до 3,20%. Встречается в виде обломков, фрагментов, линз или вытянутых участков различной формы и размеров (рис. 3.9 а,б,д,е).

Семифюзенит (рис. 3.9б, в) по показателю отражения, цвету и рельефу промежуточное положение между семивитринитом и фюзенитом. Характеризуется наличием клеточной структуры различной степени сохранности. Рельеф менее выражен, чем у фюзинита. Цвет от серо-белого до белого, темнее, чем у фюзинита. Показатель отражения R_0 от 0,70 до 4,00%.

Макринит – мацерал каменных углей, характеризуется округлой формой зерен, размер которых не превышает 3 мкм. Цвет бледно-серый до белого. Зерна не имеют хорошо выраженного микрорельефа и встречаются в тонкодисперсном коллините или заполняют полости клеток.

Склеротинит (рис. 3.9 в, г) имеют форму округлых или округло-угловатых тел с резко очерченными краями, выраженным рельефом, часто видны поры. Цвет изменяется от желтовато-белого до желтого. Поверхность различная, иногда гладкая, но чаще покрытая углубленными или полыми отверстиями. Показатель преломления R_0 от 2,3 до 3,5%.

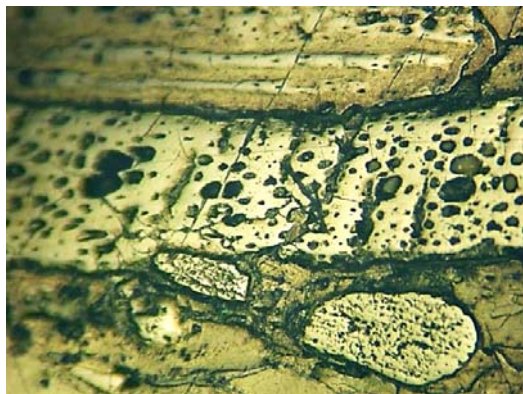
Инертодетринит – обломки или остатки мацералов семифюзенита, фюзенита, склеротинита, которые вследствие небольших размеров не могут быть идентифицированы. Частицы инертотетринита имеют, как правило, остроугольную форму, но также встречаются и окатанные. Их размер не более 20 мкм.

4. Группа липтинита. Мацералы этой группы различаются между собой по морфологическим признакам, обусловленным их происхождением. Цвет липтинита изменяется от темно-коричневого, черного до серого в зависимости от степени углефикации. Липтиниты характеризуются самым низким показателем отражения $R_0 = 0,21-1,2\%$, который зависит от степени метаморфизма.

Группа липтинита блестящих бурых и каменных углей включает шесть мацералов: споринит, кутинит, резинит, суберинит, альгинит и липтодетринит.

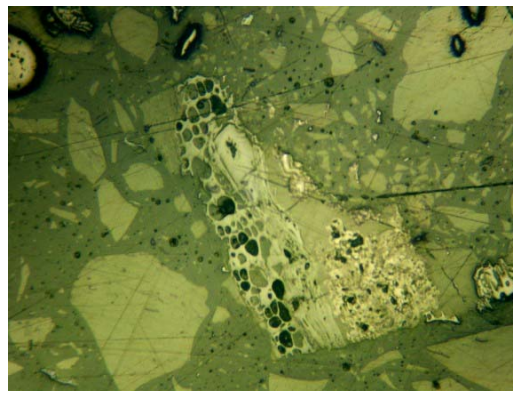
Мацералы этой группы лучше всего определять при помощи люминесцентной микроскопии. При этом каждый мацерал флуоресцирует характерным цветом: ярко-зеленым, зеленым, зелено-синим, желтым, оранжево-коричневым и красным.

Споринит (рис. 3.11) – экзин (наружный слой оболочки) макро- и микроспор, состоящие из воскоподобного вещества. Споринит имеет вид сплошных колец, размер которых колеблется для макроспор от 0,1, до 3 мм, а для микроспор – от 0,01- до 0,08 мм. Часто встречаются обрывки микро- и макроспор, а также множественные скопления микроспор. Флуоресцирует от желтого до оранжевого цвета.



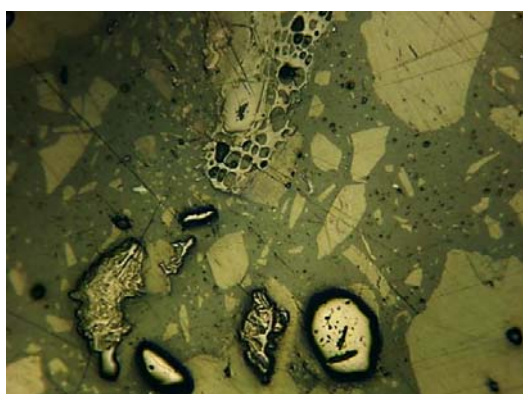
а

Фюзенит – клеточное строение, желтовато-белый цвет, высокий микрорельеф



б

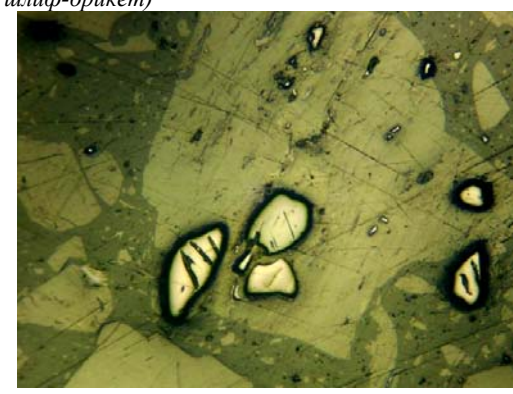
Семифюзенит (серо-белый цвет), фюзенит (желто-белый цвет), клеточное строение (анилиф-брикет)



в

Семифюзенит – бело-серый цвет, более низкий рельеф, чем у фюзенита

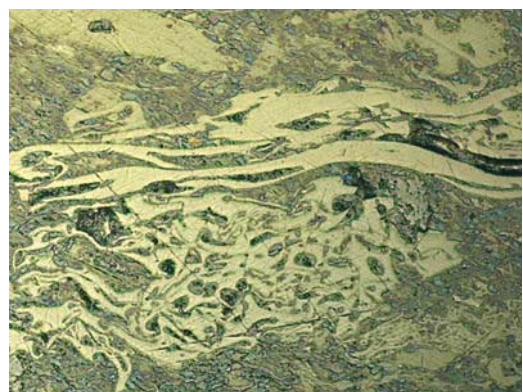
Склеротинит – округлые, округло-угловатые выделения желто-белого цвета с высоким рельефом, часто имеют поры (анилиф-брикет)



г

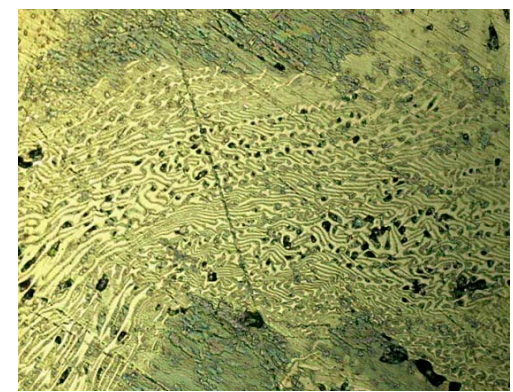
Склеротинит – округлый, округло-угловатые выделения желто-белого цвета с высоким рельефом и порами

Витринит – основная масса (анилиф-брикет)



д

Фюзенит



е

Фюзенит

Рис. 3.9 Угольные мацералы в отраженном свете

Кутинит – остатки кутикулы, представляющие кутинизированный слой эпидермиса листьев и молодых побегов. В углях встречаются в виде лент, одна сторона которых ровная, а другая зубчатая. Иногда кутинит имеет вид тонких волокон без видимых зубчиков. Флуоресцирует зелено-голубым, желтым, оранжевым, светло-коричневым цветом.

Резинит – разнообразные смоляные включения в виде отдельных телец, отличающихся по форме и величине. Встречаются в виде округлых, овальных, вытянутых или неправильной формы тел. Иногда резинит заполняет полости клеток в теллините. Размеры колеблются от десятков микрометров до несколько миллиметров. Надежным критерием отличия резинита от корповитринита является флуоресценция. Резинит в углях низких ступеней метаморфизма сильно флуоресцирует от синезеленого до бледно-оранжевого цветов. С увеличением степени углефикации зеленый цвет переходит в желтый и оранжевый.

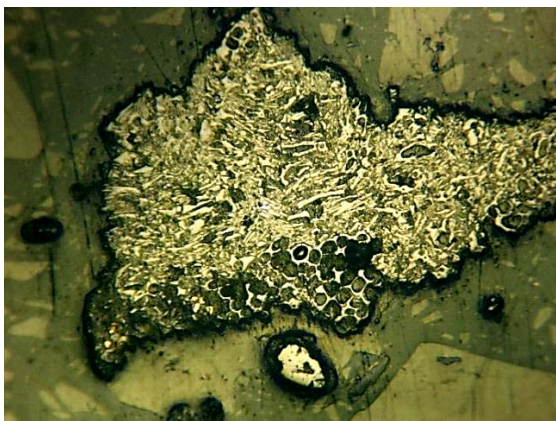
Суберинит – коровые (пробковые) ткани, клетки которых содержат суберин. Встречаются чаще всего в виде каемок различной толщины, оконтуривающих коровую ткань. Показатель отражения суберинита близок к показателю отражения споринита и кутинита. Суберинит флуоресцирует красноватым цветом различной интенсивности.

Альгинит (рис. 3.11) – колонии водорослей определенной формы и размеров или бесструктурная сапропелевая основная масса, цементирующая форменные элементы и минеральные вещества. Альгинит имеет темный, почти черный цвет и трудно отличим от других микрокомпонентов группы липтинита. Флуоресцирует желтым и зеленым цветом.

Липтодетринит – мелкие обломки мацералов группы липтинита, сложно определяющиеся из-за небольшого размера.

5. Минеральные включения в углях и антрацитах представлены сульфидами, глинистыми, карбонатными и кварцевыми минералами.

Глинистые минералы характеризуются темно-серым цветом с коричневым оттенком, имеют тонкозернистое или чешуйчатое строение, не имеют рельефа. Встречаются в виде линз, прослоек, тонкодисперсных частиц, часто заполняют клетчатые полости, замещают отдельные участки органического вещества.



Фюзинит – частично клеточные полости заполнены сульфидами железа (более яркий желтый цвет) (анилиф-брикет)



Скопление фрамбоидального пирита (анилиф-брикет)

Рис. 3.10. Сульфиды в угле

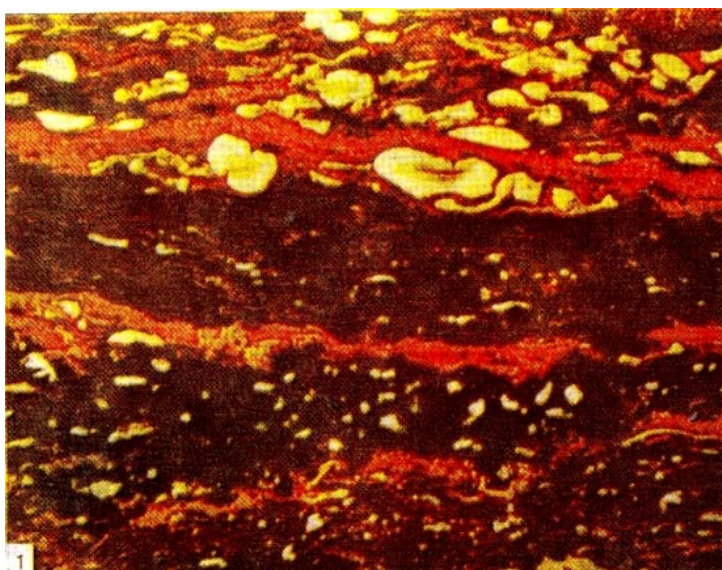
Сульфиды железа (рис. 3.10) обычно представлены пиритом, марказитом, мельниковитом, халькопиритом. Характеризуются высоким микрорельефом и ярким белым, желтым цветом. Их показатель отражения и микрорельеф выше, чем у фюзинита и склеротинита. Встречается в виде глобул, фрамбоидальных скоплений, неправильных форм, часто заполняет клеточное пространство растительных тканей.

Карбонаты имеют серый цвет, немного темнее, чем у витринита. Заполняют трещины или клеточные полости, образуют отдельные линзы и прослойки, также

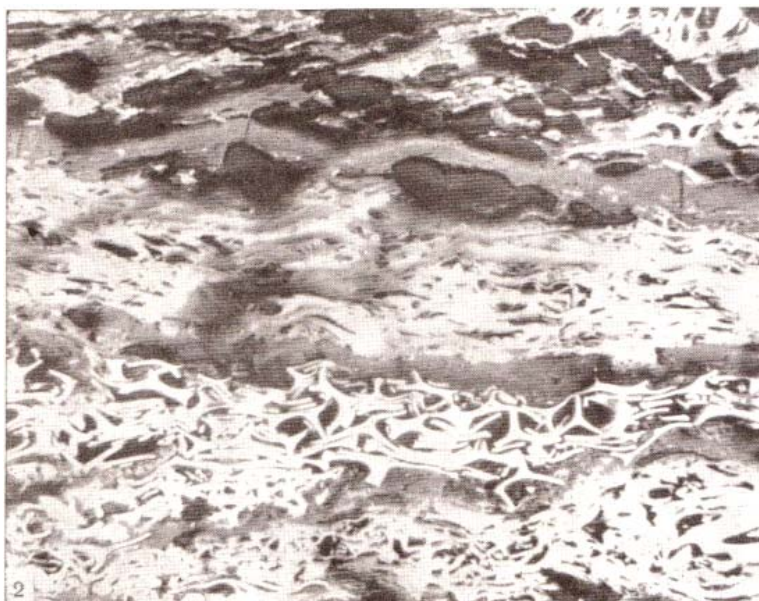
часто в виде концентрически-зональных или радиально-лучистых конкреций. Рельеф их равен витринитовому или чуть выше. Карбонаты обычно хорошо определяются при скрещенных николях по внутренним рефлексам, которых не дают мацералы, или по морфологии.

Кремнистые минералы представлены кварцем, халцедоном, опалом и др. Цвет темно-серый, микрорельеф высокий, намного выше, чем у витринита, поэтому зерна имеют темную оторочку. Встречается в виде полуокатанных, округлых, угловатых зерен, а также может заполнять трещины и полости, образовывать прослойки.

Далее для сравнения приведены фото углей в проходящем и отраженном свете одного и того же участка исследуемого образца (рис. 3.11).



А. Скопление спор, альгинит – желтое, фюзенит – черное



Б. Скопление спор и альгинит – темно-серое, фюзенит – белое

Рис. 3.11. Каменный уголь: А – в проходящем свете, Б – в отраженном (Тимофеев, 1965)

3.3. Определение количественного содержания мацералов

Метод определения количественного содержания мацералов (иногда и минерального вещества) (ГОСТ 9414.3-93) применяется только для измерений, выполненных на полированных аншлиф-брикетах в отраженном свете.

Изготовление аншлиф-брикета. Аншлифы из брикетов позволяют получить среднюю пробу из больших штуфов или всего пласта. Они дополняют аншлифы из целых кусков. Отбор проб для приготовления аншлиф-брикетов производится по ГОСТу 10742, а сами аншлиф-брикеты изготавливаются по ГОСТу 9414.2.

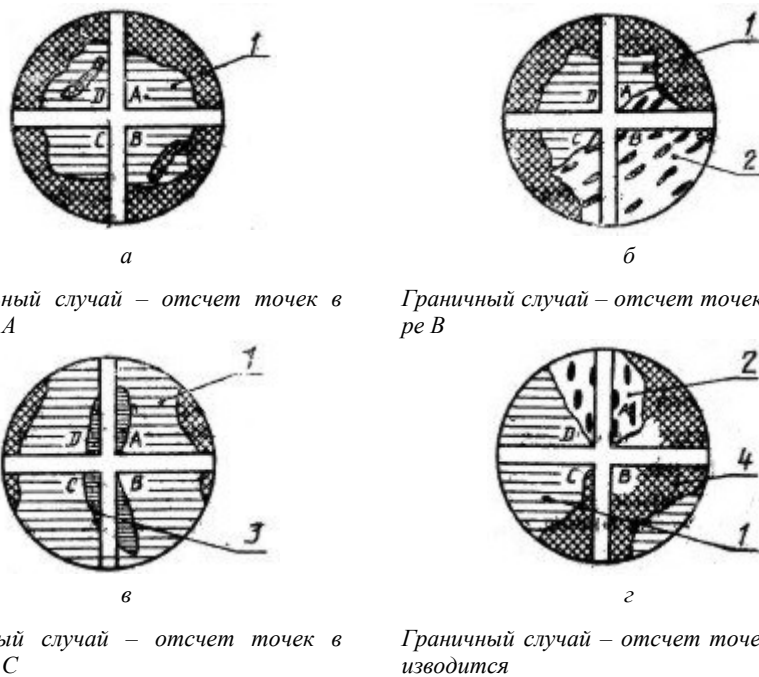
Для начала производится отбор керна (обычно 1 м). Затем осуществляется дробление керна до размерности 0-3 мм. Следующий этап – квартование (перемешивание, разделение). Отбирается навеска (около 1 столовой ложки), из которой и делается аншлиф-брикет (размер обломков примерно 1 мм, при этом фракция меньше 0,6 мм не должна превышать 5–10%). Измельченный уголь разделяется в жидкости с плотностью 1,9 г/см³ (смесь бензола и четыреххлорного углерода). Шлиф и аншлиф изготавливают из всплывшей угольной фракции (при надобности – и из осевшей на дно). Для цементации используется мономерная силиконовая смола в соотношении с углем 1:1 или лучше 1:2.

Аншлиф-брикеты используются для количественного подсчета мацералов, а также для определения показателя отражения витринита.

Изготовленный аншлиф-брикет помещается на предметный столик. Затем он исследуется под микроскопом в отраженном свете, и далее идентифицируются мацералы в иммерсионной среде (подходящей по показателю преломления 1,515-1,520 по ГОСТу 13739), сравнивая их по показателю отражения, цвету, форме, высоте микрорельефа, по степени сохранности и по размерам. Количественное соотношение определяется методом подсчета точек.

Для исследования используются окуляры с увеличениями от 8[×] до 12[×], которые снабжены пластинкой с перекрестием из тонких линий. При этом закрепляется исследуемый аншлиф-брикет в лапках препаратоводителя, который позволяет передвигать образец в горизонтальном направлении с одинаковым шагом. Причем длина шага должна быть такой, чтобы только в незначительной части исследуемых частиц производили более одного подсчета на одной и той же частице. То есть длина шага должна быть равна половине максимального диаметра частицы – 0,5–0,6 мм для проб со стандартным верхним размером частиц ~1 мм. Препаратоводитель также позволяет передвигать образец с таким же шагом в перпендикулярном направлении. Перемещение в горизонтальном направлении предпочтительнее производить с помощью счетного механизма, а в перпендикулярном – вручную.

В том случае, если на перекрестие попадает граница между мацералами или между мацералом и связующим веществом, исследуются по очереди вещества, непосредственно примыкающие к пересечению линий в верхнем справа (А), нижнем справа (В), нижнем слева (С) и верхнем слева (D) секторах. Выбирается то вещество, границы которого выходят за пределы сектора, и регистрируется точка на сметчике для этого вещества (рис. 3.12).



Нормальный случай – отсчет точек в секторе А

Граничный случай – отсчет точек в секторе В

Граничный случай – отсчет точек в секторе С

Граничный случай – отсчет точек не производится

Рис. 3.12. нормальные и граничные положения между мацералами и связующими. Схематически изображены: 1-витринит, 2 – инертинит, 3 – липтинит, 4 – связующее вещество

Далее передвигается брикет на один шаг в направлении слева направо и продолжается подсчет вдоль всего образца. В конце образец перемещается в перпендикулярном направлении на один шаг и ведется отсчет в обратном направлении параллельно первому, только справа налево по той же технологии. И так далее, пока не будет произведен расчет всего исследуемого аншлиф-брикета. Всего делают не менее 500 точек.

Объемная доля каждого компонента (p) в процентах вычисляется по формуле:

$$p = n * 100 / N,$$

где n – количество точек определяемого мацерала, группы мацералов или минеральных включений;

N – общее количество точек подсчета.

Количественный расчет мацералов позволяет отнести уголь к тем или иным классам, подклассам, типам, подтипам, группам (табл. 1.1). Данный метод используется также для определения **промышленной категории** углей по ГОСТу 25543. При этом вычисляется содержание фюзенизированных компонентов на чистый уголь, равное сумме мацералов группы инертинита (или сумме отошающих компонентов ΣOK) и двух третьих группы семивитринита (S_v).

$$\Sigma OK = 1 + 2 / 3 S_v$$

3.4. Отражательная способность витринита

Измерение отражательной способности витринита в углях производится на спектрофотометре МСФУ-К с использованием коллекции аншлифов и/или аншлиф-брикетов и иммерсионного масла.

Микроскоп спектрофотометр МСФУ-К предназначен для определения абсолютного значения показателя отражения рудных минералов и углей. С его помощью можно получать спектральные кривые отражения (СКО).

Метод определения показателя отражения витринита. Теория и техника измерений отражательной способности витринита и интерпретация ее показателей описаны (Аммосов и др., 1987, гл. 10; Штах и др., 1978, гл. 4, а также ГОСТ 12113-94). Сущность метода заключается в определении показателя отражения в витрините, а точнее в измерении и сравнении электронных токов, возникающих в фотоэлектронном умножителе (ФЭУ) под влиянием света, отраженного от полированных поверхностей исследуемого образца и стандартного, для которого известен показатель отражения.

Методика основана на сравнении двух показателей отражения витринита – в воздушной среде (R_a) и в иммерсионном масле (R_0) с величиной преломления 1,515–1,520 при температуре 20–25 °С. Измерения показателя отражения в каменных углях и антрацитах проводят на всех микрокомпонентах группы витринита, в бурых углях – на всех участках гумоколлинита (бесструктурного витринита). Участки, на которых проводят измерения, не должны иметь царапин, микрорельефа и минеральных примесей и должны быть в два раза больше, чем фотометрирующее поле. Неоднородность витринита и технические факторы заставляют измерять показатели отражения в 30–100 точках и по рефлектограмме – графику распределения – находить среднее значение R_{cp} . Количество измерений увеличивается с повышением неоднородности в составе группы витринита и с увеличением степени углефикации исследуемого образца. Для построения рефлектограмм по пластово-промышленным пробам необходимо производить не менее 100 измерений, а для установления состава угольных смесей – не менее 400.

Показатель отражения витринита в иммерсионном масле R_0 может производиться при очень больших (в 300 раз и более) увеличениях и по очень малым компонентам, но этот параметр вариабелен, и на него влияют многие случайные факторы. Величины R_a (показателя отражения витринита в воздухе) меньше подвержены их влиянию, более стабильны, но целесообразно производить определения на объектах крупнее 20 мкм (0,02 мм). R_a выражают в промилле (‰), а R_0 – в процентах (%), по отношению к отражению стандарта (тяжелые стекла определенных марок, лейкосапфир, алмаз и др.). Величины R_a и R_0 связаны формулами:

$$R_a = \left(\frac{N_1 - 1}{N_1 + 1} \right)^2 \quad \text{и} \quad R_0 = \left(\frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right)^2,$$

где N_1 и N_2 – показатели отражения витринита и иммерсионного масла соответственно. По показателю отражения иммерсионного масла N_2 и/или R_0 можно вычислить R_a и наоборот.

Для того чтобы измерить отражательную способность витринита в иммерсионном масле в обыкновенном свете необходимо измерить минимальный R_{min} , максимальный R_{max} и произвольный R_r показатели отражения.

Измерение максимального и минимального показателя отражения витринита в иммерсионном масле (с поляризатором). Для начала устанавливается поляризатор. Затем выровненный полированный препарат помещается на препаратоводитель. Наносится иммерсионное масло на поверхность образца и производится фокусировку. То есть, передвигается образец с помощью препаратоводителя, пока перекрестие не сфокусируется на подходящей поверхности витринита. Далее пропускаем свет через фотоумножитель и поворачиваем столик на 360°. Записываем наибольшее и наименьшее значение показателя отражения, которое отмечено при вращении столика. В идеальном случае должны получиться два идентичных мини-

мальных и максимальных показания. Если же есть сильные расхождения в результатах, значит надо проверить ошибки.

Образец перемещают в выбранном направлении (длина шага 0,5 мм) и производят измерения, когда перекрестие попадет на подходящую поверхность витринита. В конце пути образец передвигается на следующую линию, причем расстояние между линиями не менее 0,5 мм. Расстояние между линиями выбирается такое, чтобы измерения распределились равномерно на поверхности шлифа.

Через каждый час проверяют калибровку аппаратуры по эталону, который ближе всего к наивысшему показателю отражения. Эталоны представляют собой образцы с полированной поверхностью и должны удовлетворять следующим требованиям:

- а) изотропны;
- б) прочны и коррозионно устойчивы;
- в) сохраняют постоянный показатель отражения в течение длительного времени;
- г) имеют низкий показатель адсорбции;
- д) должны быть толщиной свыше 5 мм.

При проведении измерений применяют не менее трех эталонов с показателями отражения, близкими или перекрывающими область измерения показателей отражения исследуемых образцов.

Нулевой эталон применяется для устранения влияния темного тока фотоэлектронного умножителя и рассеянного света в оптической системе микроскопа. В качестве нулевого эталона можно использовать оптическое стекло К8 или аншлиф-брикет, изготовленный из угля с размером частиц менее 0,06 мм и имеющий в центре углубление диаметром и глубиной 5 мм, заполненный иммерсионным маслом.

Итак, измерения показателя отражения делают до тех пор, пока не будут получены требуемое число измерений (от 40-500 измерений) в зависимости от однородности и анизотропии исследуемого образца. Затем вычисляется среднее арифметическое максимальных ($R_{0,max}$) и минимальных ($R_{0,min}$) значений.

Измерение произвольного показателя отражения витринита в иммерсионном масле ($R_{0,r}$ или $R_{0,sp}$) (без поляризатора). Применяем методику, описанную выше, но без поляризатора и вращения образца. Измеряем показатель отражения витринита до тех пор, пока не будет выполнено требуемое количество измерений (от 40–100). Затем также вычисляем среднее арифметическое значение произвольного показателя отражения.

При необходимости произвольный показатель отражения можно вычислить по средним значениям максимального и минимального показателей отражения.

$$R_{0,r} = 2/3R_{0,max} + 1/3R_{0,min}$$

Измерение и обработку результатов измерений в обыкновенном и поляризованном свете в воздухе проводят аналогично измерениям и обработке результатов измерений в иммерсионном масле при более низких значениях апертурной диафрагмы, напряжения осветителя и рабочего напряжения ФЭУ. Необходимо выполнить 20–30 измерений.

Также определяют показатель **анизотропии отражения (A_R)** для высокометаморфизованных углей – **антрацитов** по формуле:

$$A_R = R_{0,max} - R_{0,min} / R_{0,r} * 100\%,$$

где $R_{0,max}$ – максимальный показатель отражения витринита в иммерсионном масле с поляризатором;

$R_{0,min}$ – минимальный показатель отражения витринита в иммерсионном масле с поляризатором;

$R_{0,r}$ – произвольный (средний) показатель отражения витринита в иммерсионном масле без поляризатора.

Определение отражательной способности витринита связало пропорциональной зависимостью многие другие параметры преобразований ОВ и минерального вещества вмещающих пород, а также процессы и продукты литогенеза на всех пост-седиментационных стадиях: типы (марки) углей, выход летучих (V^{daf} , %), углерода (C^{daf} , %), или углефикацию, выход водорода (H^{daf} , %), теплоту сгорания (Q_s^{daf} , МДж/кг), толщину пластического слоя (Y , мм), температуру и глубину недр, что позволило подвести комплексную и количественную основу под выделение стадий и подстадий литогенеза. Все это дает в руки геологов не только рабочий метод прогноза качества твердых и жидких горючих ископаемых, их размещения, но и метод геотектонического и стадияльно-литологического анализов и восстановления истории формирования стратисферы и первичного состава растительности и ее эволюции во времени.

3.5. Флуоресцентная микроскопия

Флуоресцентное исследование углей осуществляется на микроскопе Мик-Мед-2 по интенсивности свечения и цвету флуоресцирующих их компонентов.

Флуоресцентный метод с 1936 г., когда он был впервые применен при микроскопических исследованиях угля, сильно развился и стал одним из основных рабочих методов решения научных и практических задач: диагностики микрокомпонентов, их химического состава и степени метаморфизма.

Метод основан на фиксации в флуоресцентном микроскопе возбужденно-отраженного света, определении его спектра и фотографировании. Облучение производится чаще всего длинноволновым ультрафиолетовым или синим светом. Разные микрофоссилии и микрокомпоненты, неодинаковые по исходному материалу и степени преобразования, дают различные цвета флуоресценции и разную интенсивность свечения, которое ослабевает с увеличением степени углефикации, т. е. обратно пропорционально отражательной способности, и ниже скачка углефикации (отвечает выходу летучих в 28–30%, т. е. температурам около 170 °С, глубине в среднем 4500–4700 м и примерно границе стадий Ж и К) полностью исчезает. Поэтому метод особенно эффективен для бурых углей и каменных низких степеней преобразования.

По убыванию интенсивности (I) свечения микрокомпоненты распределяются в ряд экзинит – альгинит – споринит и другие липтиниты. Начальные члены ряда проявляют при облучении автолюминесценцию. Мацералы группы инертинита (фюзенита) не обладают флуоресценцией, а витриниты ее теряют при возрастании метаморфизации.

Также используются для люминесцентного анализа содержащиеся в углях битумы, которые извлекаются из угольной массы бензолом или смесью бензола и четыреххлористого углерода (при комнатной температуре). Полученный раствор облучается ультрафиолетовыми лучами. Кроме того, раствором пропитывается полоска фильтровальной бумаги, на которой отлагались исследуемые вещества.

После высухания фильтровальной бумаги исследуется люминесценция этих веществ. Данный метод впервые был применен И.И. Аммосовым и Н.И. Бабинковой (1951), И.М. Собиняковой (1949) для характеристики свойств ископаемых углей.

При проведенных исследованиях были обнаружены определенные закономерности в явлении люминесценции для углей различной степени углефикации (рис. 3.13).

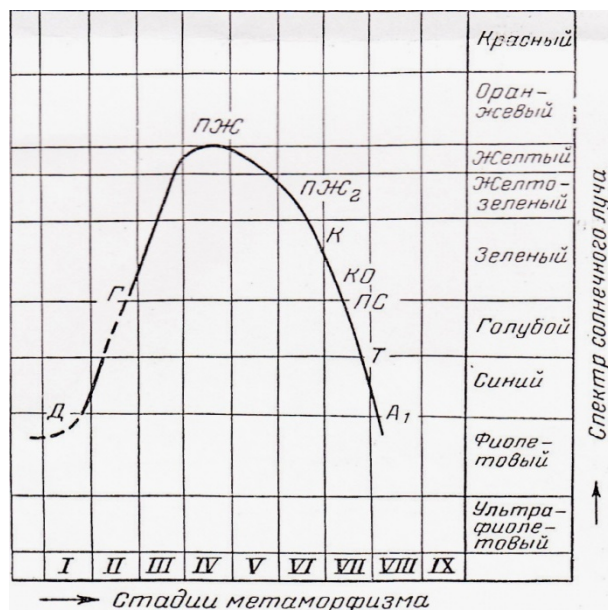


Рис. 3.13. Схема зависимости цвета люминесценции от марки угля – стадии метаморфизма (Жемчужников, Гинзбург, 1960)

Битумы спекающихся углей марок ПЖ, К и ПС в растворе люминесцируют желтым, желтовато-зеленым и зеленовато-голубым цветом с характерным молочным оттенком. Угли марки Т имеют голубой цвет, а битумы углей марок Д и А люминесцируют почти одинаковым синим и фиолетовым цветом.

Цвет люминесценции битумов, полученных на фильтровальной бумаге, отличается от цвета люминесценции битумов в растворах. Наблюдения за люминесценцией битумов на фильтровальной бумаге дают дополнительные признаки для характеристики исследуемого угля. Так, по этим признакам можно отличить марку Д от А, Г от ПС. Из высокометаморфизованных антрацитов, а также слабометаморфизованных разновидностей длиннопламенных углей, приближающихся к бурым, не удалось получить битумов, люминесцируемых видимым цветом.

ЧАСТЬ 4. УГЛЕХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью химических анализов является определение элементного состава углей: С, Н, О, S, N, микроэлементов, минеральных примесей, выхода летучих, влажности и т. д., а также групповой состав.

Результаты химических анализов углей могут иметь различную форму выражения и различные единицы измерения. Большинство параметров выражаются в расчете на аналитическое, сухое, рабочее, влажное, беззольное топливо, сухое беззольное, условную горючую органическую массу, негорючий остаток (золу) (Яковлев и др., 1997).

Аналитическое (верхний индекс а) – состояние топлива, характеризуемое подготовкой пробы, в которую включается размол с крупностью зерен менее 0,2 мм и приведением ее в равновесие с условиями лабораторного помещения.

Сухое (верхний индекс d) – состояние топлива без содержания общей влаги и зольности, с которым оно добывается, отгружается или используется.

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

Сухое беззольное (верхний индекс daf) – условное состояние топлива, не содержащего общей влаги и золы.

Органическая масса (верхний индекс O) – условное состояние топлива без содержания влаги и минеральной массы.

Обозначение аналитических показателей твердого топлива состоит из символа (характеризующего основной показатель топлива); нижнего индекса символа (дополняющего характеристику основного показателя) и верхнего индекса (уточняющего состояние топлива, к которому относится соответствующее свойство). Например, V_v^{daf} , где символ V – показатель выхода летучих веществ; нижний индекс v – указывает на объемный выход летучих компонентов; верхний индекс daf, уточняющий состояние топлива, обозначает сухое беззольное состояние.

Технический анализ – отделение горючей массы от негорючей, определение основных показателей качества топлива: влажности, зольности, выхода летучих веществ, теплоты сгорания и содержание серы общей.

Влажность угля – содержание в топливе влаги, теряемой при его высушивании до постоянной массы при температуре 105⁰-110⁰. Содержание влаги в углях колеблется в значительных пределах и зависит, с одной стороны, от условий залегания угольного пласта, а с другой – от природы угля. То есть от его степени метаморфизма, зольности, петрографического состава, степени окисленности и некоторых других факторов. В отличие от большинства показателей качества, влажность угля подвержена значительной изменчивости в зависимости от условий отбора и хранения проб, а также методики определения.

В зависимости от форм нахождения влаги, характера исходной пробы, степени ее подсушки, способа определения различают следующие виды влажности: свободная, удаляющаяся из угля стеканием; внешняя – влага, теряемая углем при доведении его до воздушно-сухого равновесного состояния, то есть влага, испаряемая на воздухе; внутренняя влага, зависящая от природы угля (связана с его гигроскопичностью – капиллярностью и пористостью); рабочая – влажность угля, слагаемая из внешней и внутренней (гигроскопической); полная – влажность свежедобытого топ-

лива, после удаления избыточной влаги, характеризует степень насыщения углей водой в свежедобытом состоянии.

Зольность – выход негорючего остатка (золы) после выжигания горючей части топлива и удаления летучих соединений в лабораторных условиях. Зола образуется за счет прокаливания и полного окисления минеральных компонентов топлива и частично элементов, входящих в состав органических соединений.

Состав золы зависит от состава тех неорганических компонентов, которые находились в угле до сгорания. Зола получается за счет растительного вещества, минеральных примесей, принесенных водой и ветром и отложенных вместе с углем, минерального вещества, попавшего в уголь при инфильтрации минерализованной воды по трещинам и слоистости.

При полном сжигании растительного материала получается зола, так как в каждом растении содержится известное количество пропитывающих клетки неорганических примесей. Такую золу можно назвать *конституционной*, так как она присуща исходному органическому веществу. Растительная зола в основном состоит из щелочных и щелочно-земельных элементов.

Зола, образовавшаяся за счет минеральных примесей, привнесенных ветром или водой, сингенетична углю; это так называемая *внутренняя зола*, образовавшаяся за счет химически связанных с органическим веществом и находящихся в тонкодисперсном состоянии компонентов.

Зола инфильтрации – эпигенетическая или *внешняя зола*, представляющая собой минеральные включения, породные прослои и вмещающие породы. Такая зола образуется от проникновения по трещинам главным образом карбонатов (Ca, Mg и Fe), сернистых соединений (Fe, Pb), сульфата кальция (гипса). Масса такой золы меньше массы минеральных примесей в угле, так как часть последних выгорает, например: пирит FeS_2 при сжигании дает SO_2 , уходящий в воздух; гипс $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ теряет кристаллизационную воду и т. д.

Зольность определяют в процентах на абсолютно сухое вещество A^c . Она колеблется в широких пределах, от 2–3 до 40–50% и более. В промышленности по проценту зольности проводят границу между углями и углистыми сланцами; горную породу, с зольностью ниже 40%, называют углем, с зольностью выше 40% – углистым сланцем. Влага и зола – негорючие составные части углей – представляют в нем так называемый балласт. За вычетом балласта остается горючая масса.

Выход летучих – количество летучих веществ, образующихся при термическом разложении угля в стандартных условиях, отражающее характер органической массы твердых топлив и их технологические свойства. При этом органическая масса выделяет газообразные и жидкие вещества, количество которых определяется в процентах к горючей массе. Остающийся при этом твердый остаток органического и неорганического вещества носит название кокса. Обычно коксовый остаток остается вместе с золой. По весу коксового остатка, то есть зольного кокса, можно судить о количестве выделившихся летучих веществ и о беззольном коксе. В зависимости от метода определения различают выход летучих по массе в % и объемный в мл/г (см/г).

В среднем для бурых углей выход летучих веществ составляет 45–55%, для каменных – от 10 до 50%, для антрацита – не более 8%.

Объемный выход летучих веществ служит для оценки антрацитов. Выход летучих является основным классификационным показателем для каменных углей в большинстве классификаций мира.

Теплота сгорания – количество тепла, выделяемое при сгорании единицы топлива. Может выражаться в ккал/кг, кал/г (техническая система), кДж/кг, Дж/г (система СИ). Величина характеризует энергетическую ценность угля. Ее определяют лабораторным способом путем сжигания навески угля в калориметрической бомбе, в среде сжатого кислорода в установленных стандартом условиях или вычисляют по данным химического анализа. Полученная при этом величина включает тепло, выделяющееся за счет образования и растворения в воде азотной и серной кислот, а также испарения воды, выделившейся и образовавшейся во время сгорания. Соответствующими пересчетами величины теплоты сгорания, определенной по бомбе, получают значение высшей теплоты сгорания с исключением тепла, полученного за счет испарения воды.

Пересчет значения теплоты сгорания для различных состояний угля выполняют по формулам. Высшая теплота сгорания, пересчитанная на сухое беззольное состояние угля Q_{daf} , характеризует природный тип угля, степень его углефикации, вещественный состав. Низшая теплота сгорания рабочей массы угля Q_r выражает количество тепла, которое с учетом балласта (влаги и золы) может быть практически реализовано при сжигании.

Для сравнения теплового эффекта от сжигания разных видов топлива и углей различного качества используют понятие условного топлива. За условное принимается топливо с низшей теплотой сгорания 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

Теплота сгорания горючей части топлива зависит от его состава и степени метаморфизма и, в первую очередь, от содержания углерода и водорода, причем особо существенное влияние оказывает водород, один процент которого дает тепло в 3,5 раза больше, чем углерод.

Величина теплоты сгорания колеблется у бурых углей 3500–6000 ккал/кг, каменных 6000–8500 ккал/кг, у антрацитов – около 8000 ккал/кг.

Элементарный анализ. Элементарный состав углей в углехимии – содержание основных компонентов в органической части угля – углерода, водорода, кислорода, азота и органической серы.

Результаты элементарного анализа служат для общей характеристики и классификации топлива: позволяет судить по содержанию водорода о природном типе углей (гумусовый, сапропелевый), по соотношению углерода, кислорода и водорода – о степени метаморфизма.

Элементный состав определяют по ГОСТу 2408-49 и 6389-71. Экспериментально устанавливают содержание углерода, водорода и азота. Кислород рассчитывают по разности $Q^{daf} = 100\% - (C^{daf} + H^{daf} + N^{daf})$.

Сущность метода определения содержания углерода и водорода по ГОСТу 2408-49 заключается в сжигании навески испытуемого топлива в струе кислорода, окислении продуктов неполного сгорания раскаленной окисью меди, поглощении образующихся в процессе сжигания двуокси углерода и воды и определении их массы.

Содержание углерода в углях изменяется от 63 до 96%, возрастает с увеличением степени метаморфизма. Особенно быстро возрастание идет в области марок Б, Д и Г, у которых содержание углерода является чувствительным показателем метаморфизма. На более высоких стадиях содержание углерода возрастает менее интенсивно, и его классификационное значение уменьшается.

Содержание водорода (1,3–10%) изменяется в ряду метаморфизма по кривой со слабо выраженным максимумом на II каменноугольной стадии. На содержание Н

существенно влияет петрографический состав: отмечается уменьшение содержания водорода с ростом содержания мацералов группы инертинита и увеличением мацералов группы липтинита.

Содержание кислорода в ряду метаморфизма углей уменьшается от 20-30% – у бурых, до 2–2,2% – у полуантрацитов и тощих. Наибольшая скорость изменения содержания кислорода отмечается на низших стадиях метаморфизма.

Азот входит в состав органической части угля в виде сложных соединений. Источником азота в углях являются азотистые соединения растений-углеобразователей. Сущность определения содержания азота по ГОСТу 2408-49 заключается в окислении испытуемого топлива кипящей серной кислотой, разложении образовавшегося сернокислого аммония едкой щелочью и определении полученного аммония. Содержание азота в гумусовых углях изменяется от 0,4 до 4,2%, в некоторых сапропелитах доходит до 5,7%.

Сера в ископаемых углях содержится в сульфидах, органических соединениях, в сульфатах и в отдельных случаях в элементарном виде. Основную роль в балансе серы играют сульфидная и органическая разновидности, причем выделение последней является несколько условным, так как за ее содержание принимается разность между содержанием серы общей и суммой сульфидной и сульфатной.

Содержание серы общей ($S_{\text{орг}} + S_{\text{пир}} + S_{\text{сульф}}$) – один из основных показателей качества как технологических, так и энергетических углей и нормируется техническими условиями для большинства направлений использования. Содержание серы по разновидностям (органической и сульфатной) – вспомогательный показатель и определяется он только для высокосернистых углей.

Установление содержания серы общей по ГОСТу 8606-68 заключается в сжигании навески топлива со смесью окиси магния и углекислого натрия (смесь Эшка), растворении образовавшихся сульфатов, осаждении сульфат-ионов в виде сернокислого бария и определении массы последнего.

Содержание серы в ископаемых угля Российской Федерации колеблется от 0,5 до 6% и достигает на отдельных участках некоторых месторождений 15%. В целом по стране преобладают низкосернистые угли, составляющие 75% всех запасов.

Групповой анализ – разделение сложных смесей (гетеромолекулярных веществ) на группы веществ, обладающих одинаковыми свойствами по отношению к действию органических растворителей, щелочей, минеральных кислот и других реагентов. Групповой состав твердых горючих ископаемых изучают с целью оценки генетических и технологических особенностей топлива, а также для оценки в качестве сырья для экстракционного производства.

В составе твердых горючих ископаемых при групповом анализе обычно выделяют: битумы, вещества, выделяемые из углей при экстракции органическими (малополярными) растворителями; гуминовые кислоты – вещества, выделяемые из углей при щелочной экстракции и осаждаемых из щелочного раствора минеральными кислотами; фульвоновые кислоты – часть выделяемых при щелочной экстракции продуктов, не осаждаемых из раствора кислотами; гематомелановые кислоты – часть гуминовых кислот, растворяемых в этиловом спирте; остаточный уголь – продукт, остающийся после извлечения из углей битумов и гуминовых кислот, производится после извлечения битум-экстракта. Остаточный уголь используется как энергетическое топливо.

Изучение свойств угля при термическом воздействии. Такими свойствами являются – спекаемость, коксующесть, состав и выход летучих компонентов продуктов термического разложения.

Спекаемость – свойство угля переходить при нагревании без доступа воздуха в пластическое состояние с образованием связанного нелетучего остатка. Свойство угля спекать инертный материал с образованием такого остатка, называется спекающей способностью. При нагреве углей определенного петрографического состава и степени углефикации выше 300°C без доступа воздуха из них выделяются парогазовые и жидкие продукты. Часть этих продуктов удаляются из зоны реакции, а оставшиеся образуют совместно с твердыми продуктами пластическую или вязкотекучую массу. При температуре $500\text{--}550^{\circ}\text{C}$ эта масса затвердевает, образуется спекшийся твердый остаток – полукокс. При дальнейшем увеличении температуры (до 1000°C и более) в полукоксе снижается содержание кислорода, водорода и серы, последовательно возрастает содержание углерода, происходит структурно-молекулярная перестройка органического вещества с упорядочением расположения углеродных слоев. Полукокс переходит в твердый углеродистый продукт – кокс.

Для ориентировочной оценки спекаемости используют характер нелетучего остатка (королька), получаемого из угля после отгона летучих веществ. Детальное изучение спекаемости производится пластометрическим методом Л.М. Саповникова, а также определением ряда показателей другими методами.

Характеристика нелетучего остатка – трещиноватость, пористость, блеск, цвет, оплавленность, высота бахромы и характер губки. Наличие бахромы – слоя, образующегося по краям нелетучего остатка, и губки – сильно пористого его верхнего слоя – признак хорошей спекаемости угля.

Пластометрический метод Л.М. Саповникова заключается в испытании угля в пластометрическом аппарате, в котором создаются условия, сходные с условиями промышленного коксования. По результатам испытания определяют:

1) толщину пластического слоя Y (мм), характеризующую спекаемость угля, максимальное расстояние между поверхностями раздела; уголь – пластическая масса – полукокс;

2) пластометрическую усадку X (мм), конечное изменение высоты угольной загрузки при испытании, которое находят по разности конечного и начального (нулевая линия) положения пластометрической кривой;

Индекс Рога устанавливают по прочности нелетучего остатка, получаемого при быстром нагревании смеси угля с инертным материалом. Используют для характеристики углей с низкой спекаемостью ($Y < 6$ мм).

Индекс свободного вспучивания – один из параметров спекаемости, принятых в международной классификации каменных углей. Определяют путем сравнения профиля нелетучего остатка (королька), полученного при нагревании в тигле угля массой 1 г до температуры $350 \pm 5^{\circ}\text{C}$ со стандартными нумерованными профилями корольков.

Коксующесть – свойство измельченного угля спекаться с последующим образованием кокса с установленной крупностью и прочностью коксов, исследуется прямыми и косвенными методами. Прямые методы заключаются в коксовании углей в полузаводских печах и ящичном коксовании. Косвенное определение коксующесть производится путем дилатометрических исследований и по системе Грее-Кинга.

Дилатометрические исследования устанавливают одно из важнейших свойств, образующееся при нагреве угля пластической массы, – способность вспучиваться,

то есть увеличиваться в объеме под воздействием выделяющихся при пиролизе летучих продуктов, а также температурные интервалы нахождения угля в пластическом состоянии.

Оценки коксумости по системе Грей-Кинга производят путем сравнения вида и характера нелетучего остатка, полученного из угля или смеси угля с инертным материалом нагревания в установленных стандартом условиях, с эталонной шкалой типов кокса.

Состав и выход летучих продуктов термического разложения. При низкотемпературном (до 350 °С) разложении угля выделяются вода и двуокись углерода. Суммарный выход этих продуктов характеризует окисленность и химическую зрелость углей.

При нагреве углей до температуры 500-550 °С без доступа воздуха (полукоксования) образуются:

1) смола (первичный дёготь) – смесь конденсирующихся при температуре 20–30 °С жидких органических продуктов (парафинов, эфиров, фенолов, кетонов, карбонатных кислот, сернистых, азотистых и других соединений); она используется для получения моторных топлив, смазочных масел и других целей;

2) парагенетическая (подсмольная) вода, в которой содержатся аммиак, цианистые соединения, уксусная кислота и др.;

3) газ полукоксования – смесь различных неконденсирующихся газов (СН₄, Н₂, СО, СО₂), используемая как топливо;

4) полукокк – твердый нелетучий остаток, используемый как облагороженное (бездымное) топливо или добавка в коксовую шихту.

Состав и свойства минеральной части углей. При характеристике угля существенное значение имеет не только его органическая, но и минеральная часть. При разведке угольных месторождений оценивают содержание минеральных компонентов, состав золы и содержание углекислоты карбонатов, температуру плавления золы. Для углей с легкоплавкой золой, предназначенных для сжигания с жидким шлакоудалением, дополнительно оценивают вязкость в жидкоплавком состоянии.

Основные компоненты золы: оксиды кремния, алюминия, железа, натрия, калия, подчиненное значение имеют оксиды титана, фосфора, марганца.

Выход и состав зол зависит от природы угля (условий его сжигания, прежде всего, от скорости озоления и конечной температуры прокаливания). По составу золы подразделяют на кремнистые (с содержанием оксида кремния – 40–70%), глиноземные (оксид алюминия – 30–45%), железистые (оксид железа – больше 20%), известковые (оксид кальция – 20–40%).

Углекислоту карбонатов используют для введения поправок при расчетах горючей и органической массы, оценке содержания и состава минеральных веществ в топливе и составления балансов продуктов сжигания. Содержание углекислоты карбонатов в углях изменяется от следов до 10–15%. Горючие сланцы характеризуются высокими содержаниями углекислоты карбонатов.

Плавкость зол оценивают по температуре: спекания t_s , начала деформации t_a , плавления t_b и жидко-плавкого состояния, сформированных из золы образцов при их нагревании в полувосстановительной среде, и дополнительно, – начала плавления в окислительной среде. По предельным значениям температуры плавления их подразделяют на легкоплавкие (t меньше 1200 °С), среднеплавкие (1200–1350 °С), тугоплавкие (1350–1500 °С) и неплавкие (больше 1500 °С).

Редкие элементы, цветные и благородные металлы в углях. В органической и минеральной частях углей содержатся соединения цветных металлов, редкие и рассеянные элементы, суммарная концентрация которых обычно не превышает 1 % сухой массы углей. Они объединяется в условное понятие – «малые» элементы. Содержание подавляющего числа этих элементов не превышает фоновых значений, пока на некоторых месторождениях отдельные из них приобретают значение как объекты попутного извлечения и промышленного использования или как вредные (токсичные) примеси.

Наибольшее практическое значение для извлечения имеют уран и германий. Повышенные концентрации этих элементов в углях переводят некоторые угольные месторождения в разряд самостоятельных угольно-урановых или угольно-германиевых. Попутное извлечение германия при переработке углей производится на многих месторождениях, на некоторых извлекаются гелий и ванадий. Перспективы для извлечения: молибден, рений, серебро.

Многие «малые» элементы, образующиеся при добычи, переработке и использовании углей, особенно с учетом крупномасштабного осуществления этих процессов, являются вредными примесями и загрязняют окружающую среду. Минимальное содержание в углях токсичных элементов, при которых они рассматриваются как токсичные и подлежат детальному изучению (в г/т сухого угля): мышьяк – 300, бериллий – 50, ванадий – 100, кобальт – 100, марганец – 1000, никель – 100, ртуть – 1, свинец – 50, селен – 1000, фтор – 500, хром – 100.

Для определения содержания в углях «малых» элементов используют полуколичественные и количественные спектральные, спектрофотометрические, активационные и атомно-адсорбционные методы.

С помощью углехимических методов можно узнать основные показатели качества углей, приведенные в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Основные показатели качества угля

Показатель	Условное обозначение	Номера государственных стандартов, рекомендуемых методы испытаний
Петрографический состав углей: каменных, бурых	Vt, Sv, L, I, ΣОК	9414–74, 9414.1–94, 9414.2–93, 9414.3–93, 12112–78
Марка угля	Б, Д, ДГ, Г, ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КСН, КС, ОС, ТС, СС, Т, А	25543–88
Технологическая группа	1Б, 2Б, 3Б, 1Г, 2Г, 1ГЖО, 2ГЖО, 1ГЖ, 2ГЖ, 1Ж, 2Ж, 1К, 2К, 1КО, 2КО, 1КС, 2КС, 1ОС, 2ОС, 1СС, 2СС, 3СС, 1Т, 2Т, 1А, 2А и 3А	25543–88
Массовая доля общей рабочей влаги, %	W_t^r	9516–92, 11014–2001, 11056–77, 26898–86, 27314–91, 29085–91, 30100–93
Максимальная влагоемкость на беззольное для бурых углей, %	W_{max}	8858-93

Показатель	Условное обозначение	Номера государственных стандартов, рекомендующих методы испытаний
Зольность сухого топлива, %	A^d	11022–95, 11055–78
Высшая теплота сгорания, МДж/кг	Q_s^{daf}	147–95
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Q_i^r	147–95
Выход летучих веществ, %	V^{daf}	6382–91
Объемный выход летучих веществ для антрацитов, см ³ /г	V_v^{daf}	7303–90
Массовая доля общей серы,	S_t^d	8606–93, 2059–95
Массовая доля фосфора, %	P^d	1932–82
Показатели пластометрические: пластометрическая усадка, мм толщина пластического слоя, мм	X Y	1186–87 1186–87
Показатель РОГА	RI	9318–91
Показатели дилатометрические	a, b, Π_H, Π_B, I_B	13324–94, 14056–77
Показатель ГРЕЙ-КИНГА	GK	16 126–91
Показатель отражения витринита в иммерсии	R_o	12113–94
Температура плавления золы, °С	t_3	2057–94
Химический состав золы	–	10538–87
Выход гуминовых кислот, %	$(HA)_t$	9517–94
Выход смолы полукоксования для бурых углей, %	T_{sK}^{daf}	3168–93
Выход битума (бензолного экстракта) из бурых углей, %	B^d	10969–91
Термическая стойкость, %	ПТС	7714–75
Механическая прочность, %	X_1, X_2	15490–70
Коэффициент размолоспособности	Gr_{VII}	15489.1–93, 15489.2–93
Действительная плотность, г/см ³	d_r	2160–92
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	ρ	4668–75
Анизотропия отражения витринита, %	A_R	12113-94
Выход углерода, %	C	2408,1-2408,3
Выход водорода, %	H	2408,1-2408,3

Углехимические методы дополняют и завершают предыдущие исследования углей. Они используются для выяснения качества углей или установления их промышленной ценности. При этом применяются ГОСТы по проведению углехимических анализов.

ЧАСТЬ 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ

В результате проведенных исследований углей можно дать их промышленную классификацию. Она основана на ГОСТах 25543-88, 17070.

Для промышленной классификации углей выбирают основные показатели качества (параметры), которые выявляют с помощью комплексного анализа, включающего углепетрографические и углехимические методы исследования. Оцениваются наиболее важные технологические свойства углей для ведущих направлений переработки энергетического, металлургического, химико-технологического и другого производства.

В 1988 г. утверждена и введена в действие с 01.01.1990 г. (ГОСТ 25543-88) единая классификация неокисленных ископаемых углей Советского Союза, предусматривающая их подразделение: по видам – на бурые, каменные и антрациты; по генетическим параметрам – на классы, категории, типы и подтипы; по технологическим параметрам – на марки, группы и подгруппы (Яковлев, 1997). Подразделение ископаемых углей на виды производится по параметрам и их значениям (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Параметры для подразделения неокисленных ископаемых углей (ГОСТ 25543-88)

Виды угля	R_o , %	Q^{daf} , МДж/кг	V^{daf} , %
Бурый	0,60	24	
Каменный	0,40–2,59	24 и более	8 и более
Антрацит	2,20 и более		8

Генетические параметры. Класс угля характеризует степень метаморфизма по среднему показателю отражения витринита R_o . Номер класса соответствует минимальному значению R_o оцениваемых углей, умноженному на 10. По этому показателю выделено 50 классов углей: 5 – бурых углей (классы 02-05), 22 – каменных углей (04-25) и 29 – антрацитов (классы 22-50).

Категория характеризует петрографический состав углей по содержанию фюзенизированных отошающих при коксовании компонентов ОК. Номер категории соответствует минимальному значению ОК, деленному на 10.

Тип и подтип угля, определяемые по показателям, важнейшим для выбора направления промышленного использования, которые отражают неодинаковую степень восстановления органического вещества. Повышенная степень восстановленности бурых углей обуславливает более высокий уровень смолы полукоксования; каменные изометаморфизованные угли с одинаковым или близким петрографическим составом обладают более высокой спекаемостью, в антрацитах снижается показатель анизотропии отражения витринита. Структурные особенности и петрографический состав бурых углей отражаются на их влагосодержании.

Тип угля определяют по максимальной влагоемкости на беззолное состояние W_{max} для бурых углей, выходу летучих веществ на сухое беззолное состояние V^{daf} для каменных углей и объемному выходу летучих веществ на сухое беззолное состояние W^{daf} для антрацитов. Номер типа соответствует минимальным значениям: W_{max} бурого, V^{daf} каменного и деленного на 10 значений V^{daf} антрацитов.

Подтип угля находят по выходу смолы полукоксования на сухое беззолное состояние T^{daf} для бурых углей, толщине пластического слоя U и индексу Ro_g PJ для каменных углей, анизотропии отражения витринита A_k для антрацитов. Номер

подтипа соответствует минимальным значениям величин указанных показателей в исследуемом угле.

По совокупности генетических параметров каждый уголь обозначается семизначным кодовым числом, в котором первые две цифры указывают номер класса, третья – номер категории, четвертая и пятая – номер типа, шестая и седьмая – номер подтипа. Так кодовый номер 1123219 будет иметь каменный уголь любого бассейна (с показателем отражения витринита $R_o = 1,10-1,19\%$, содержанием фюзенизированных компонентов $OK = 20-29\%$, выходом летучего вещества $V^{daf} = 32-34\%$ и толщиной пластического слоя 19 мм).

Технологические параметры. Угли различных кодовых номеров со сходными технологическими свойствами в основных процессах переработки объединены в технологические марки, группы, подгруппы. Всего выделено 17 марок, при этом для бурых углей и антрацитов – по одной марке (соответственно Б и А), для каменных 15: длиннопламенный (Д), длиннопламенный газовый (ДГ), газовый (Г), газовый жирный отощенный (ГЖО), газовый жирный (ГЖ), жирный (Ж), коксовый жирный (КЖ), коксовый (К), коксовый отощенный (КО), коксовый слабоспекающийся (КС), отощенный спекающийся (ОС), тощий слабоспекающийся (ТС), слабоспекающийся (СС), тощий (Т).

Марки бурых, каменных (исключая Д, ДГ, КЖ, КСН и ТС) и антрацитов подразделяют на группы. Основные параметры для такого подразделения: марки Б – генетический тип (по максимальной влагоемкости); марок Г и Ж – генетический тип (по различиям в спекаемости изометармофизованных углей этих марок); марок ГЖО, ГЖ, К, КО, КС, ОС, СС, Т и А – генетические классы углей (по величине R_o), в меньшей мере, – принадлежность углей одной и той же марки к различным типам (по V^{daf} каменных и антрацитов).

Наименование группы предшествует названию марки: первый бурый, второй газовый и т. д.; перед условным обозначением марки ставят номер группы (например, 1Б, 2Г и т. п.).

Объединение углей одних и тех же марок и групп в подгруппы производят по характеристике петрографического состава (категории). Углям с номерами категории 1, 2, 3-й ($OK < 40\%$) присваивается наименование витринитовых, категориям 4-й и выше – фюзенитовых, что указывается после названия соответствующей марки (например, второй газовый витринитовый или второй газовый фюзенитовый) и отражается в условном обозначении марки и группы угля дополнением её буквами В и Ф (например, 2ГВ или 2ГФ). Для бурых углей 1Б, каменных 2Г, ГЖ, Ж, КЖ, СС – подгруппы не выделяют.

Технологические марки, группу и подгруппу устанавливают для каждого пласта по совокупности генетических параметров. Например, уголь, характеризующийся показателями: $R_o = 1,48\%$, $OK = 43\%$, $V^{daf} = 18,3\%$, $Y = 10$ мм, соответствующий классу 14, категории 4, типу 18, подтипу 10, относится к марке ОС, группе 10С, подгруппе 10 СФ (кодový номер 1441810). При сочетании класса, категории, типа и подтипа исследуемого угля, не соответствующего указанному в таблице 5, он относится к технологической марке, группе и подгруппе в соответствии с его классом и подтипом.

Границей между бурыми и каменными углями установлено значение высшей удельной теплоты сгорания в пересчете на условно влажное (96% относительной влажности при 30°C) беззольное состояние Q^{af} . К каменным отнесены угли с Q^{af} более 23,87 МДж/кг.

Классификация построена по кодовой системе. Первая цифра кода – класс угля – характеризует его метаморфизм по выходу летучих веществ V^{daf} или по теплоте сгорания Q^{daf} углей с V^{daf} более 33%. Вторая цифра – группа угля – характеризует спекаемость углей по показателю свободного вспучивания SJ или по индексу Рого PJ, третья – подгруппа – коксуемость углей по показателю дилатации b, определенного методом Одбер-Арну или по типу кокса Грей-Кинга.

В международной классификации бурых углей их подразделение произведено на шесть классов – по естественной (рабочей) влажности W^e (W^f) и на пять групп – по выходу первичной смолы T^{daf} . Угли обозначаются кодовым четырехзначным числом, первые две цифры которого указывают их класс, вторые две – группу угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аммосов И.И., Еремин И.В. и др. Промышленно-генетическая классификация углей СССР. М.: Наука, 1964. – 176 с.
2. Вальц Н.Э., Гинзбург А.И., Крылова Н.М. Основные принципы вещественно-петрографической классификации углей. УХ.Т.Т. 1968. – №3. – С. 5-21.
3. Волкова И.Б. Органическая петрология. – Л.: Недра, 1990. – 299 с.
4. Волков Н.А. Лабораторная практика по петрографии углей. – М.: Углетехиздат, 1951. – 140 с.
5. Гинзбург А.И., Корженевская Е.С., Волкова И.Б. и др. Петрографические типы углей СССР. – Л.: Недра, 1975.-248 с.
6. Гинзбург А.И., Лапо А.В., Летушова И.А. Рациональный комплекс петрографических и химических методов исследования углей и горючих сланцев. М-во геологии СССР. Всесоюзный научный исследовательский геологический институт. – Л.: Недра, 1976. – 168 с.
7. Голицын М.В., Голицын А.М. Все об угле. – М.: Наука, 1989. – 188 с.
8. Гуревич А.Б. Прогноз угленосности и качества углей при ГС-200 и ГДП-200. Методическое руководство/Гуревич А.Б., Волкова Г.М., Богданова М.В. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. – 144 с.
9. Ергольская З.В. Изменение ископаемых углей в процессе углефикации. – М.: Тр. ЦНИГРИ, 1939. – 57 с.
10. Жемчужников Ю.А., Гинзбург А.И. Основы петрологии углей. – М.: Изд-во академии наук СССР, 1960. – 336 с.
11. Тимофеев П.П. Международный толковый словарь по петрографии углей. – М.: Наука, 1965.-266 с.
12. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И., Вальц И.Э., Гинзбург Л.И., Крылова И.М. Генезис гумусовых углей и их классификация. В кн.: Угленосные формации и их генезис. – М.: Изд-во "Наука", 1973.
13. Петров О.В. Петрологический атлас ископаемого органического вещества России. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. – 604 с.
14. Шванов В.Н. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов/ Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева В.И. и др. СПб.: Недра, 1998. – 352 с.
15. Штах Э., Маковски М.-Т., Тейхмюллер М. и др. Петрология углей. – М.: Изд-во «Мир», 1978. – 556 с.
16. Яковлев И.Ю., Глухов Ю.С., Михеев В.Г. Лабораторные методы изучения горючих полезных ископаемых. – Красноярск: Изд-во ГАЦМиЗ, 1997. – 40с.
17. Япаскерт О.В. Литогенез в осадочных бассейнах мезогеосинклиналей. – М.: Изд-во МГУ, 1989.-152 с.
18. ГОСТ 12113-94. Угли бурые, каменные и антрациты. Твердые рассеянные органические вещества и углеродистые материалы. Метод определения показателя отражения. – М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 1994. – 20 с.
19. ГОСТ 25543-88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по технологическим и генетическим параметрам. – М.: Изд-во стандартов ИПК, 1990 (обновление 2004). – 17 с.
20. ГОСТ 17070-87. Угли. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов ИПК, 1989 (обновление 2009). – 16 с.

21. ГОСТ 9414,3-93. Уголь каменный и антрацит. Часть 3. Метод определения групп мацералов. – Минск: Изд-во Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 12 с.
22. ГОСТ 9414-74. Угли бурые каменные и антрацит. Метод определения петрографического состава. – М.: Изд-во Государственный комитет СССР по стандартам, 1976 (изменен 1988). – 21 с.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вальц И.Э. Петрография углей СССР. Основы петрографии углей и методы углепетрографических исследований. (Труды, нов. сер, т. 309). – Л.: Недра, 1982. – 191 с.
2. Волкова И.Б. Петрография углей СССР. Вещественно-петрографический состав угольных пластов и качество углей основных бассейнов СССР. (Труды, нов. сер., т. 333). – Л.: Недра, 1986. – 248 с.
3. Волкова И.Б. Органическая петрология. – Л.: Недра, 1990. – 299 с.
4. Волков В.Н. Основы геологии горючих ископаемых: Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2005. – 262 с.
5. Гинзбург А.И., Корженевская Е.С., Волкова И.Б. и др. Петрографические типы углей СССР. М.: Недра, 1975. – 248 с.
6. Жемчужников Ю.А., Гинзбург А.И. Основы петрологии углей. М.: Изд-во академии наук СССР 1960. – 336 с.
7. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. – М.: Недра, 1991. – 363 с.
8. Петров О.В. Петрологический атлас ископаемого органического вещества России, 2006. – 604 с.
9. Тимофеев П.П. Международный толковый словарь по петрографии углей. – М.: Наука, 1965.-266 с.
10. Угольная база России в 6 т. – М.: Геоинформмарк, 1997-2004.
11. Штах Э., Маковски М., Тайхмюллер М. и др. Петрология углей. Пер. с англ., под ред. И.В. Еремина, Н.П. Гречишниковой. М.: Мир, 1978. – 556 с.

Учебное издание

СТОЛБОВА Нэля Фёдоровна
ИСАЕВА Елена Ринатовна


ПЕТРОЛОГИЯ УГЛЕЙ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *Ю.Г. Албу*
Дизайн обложки *А.И. Сидоренко*

Подписано к печати 19.04.2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 8,95. Уч.-изд. л. 8,10.
Заказ 997-13. Тираж 100 экз.

ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru