

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Автор статьи:

Шестакова
Ольга Евгеньевна
- канд. геолого-минерал. наук, доц.
каф. геологии КузГТУ
Email: Olga_shestakova@list.ru
Тел.8-950-274-2115

УДК 552

О.Е. Шестакова

ВИЗУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИРОДНЫХ ВИДОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРОК ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

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

Метаморфизм углей

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

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

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

по сравнению с исходным объемом торфяника [3].

Метагенез – это фаза высокотемпературного метаморфизма при погружении пластов углей на значительные глубины до 5-10 км, где температура поднимается выше 150° С и достигает 300-350° С, а давление до 600 МПа [5]. В этих условиях идет дальнейшее перерождение углей и происходит плавление и спекание коксующихся мацералов групп витринита и липтинита, широко проявляют себя тектонические процессы. Образуются каменный уголь и антрацит V – X ступеней метаморфизма ОС, Т, А. В стадию метагенеза происходит максимальное уплотнение углей, и их объем уменьшается в 10 – 15 раз от объема исходного торфяника [3],

Степень метаморфизма углей проявляется в их физических и механических свойствах. На основе изучения изменения свойств углей при метаморфизме составлена методика визуальной диагностики природных видов и технологических марок углей. С помощью этой методики достоверно определяются 3 природных вида и 8 технологических марок: бурый уголь (Б), каменный уголь (Д, Г, Ж, К, ОС, Т) и антрацит (А).

Физические свойства углей

Цвет углей различен и зависит от петрографического состава литотипа углей, присутствия минеральных примесей, степени углефикации. По мере увеличении степени углефикации цвет углей изменяется от бурого и коричневого у бурых углей, к черному у каменных углей и серовато-черному с желтоватым оттенком у антрацитов (табл. 2).

Цвет черты – это цвет угля в порошке. Цвет черты определяется на неглазированной фарфоровой пластинке (бисквите). Черта меняется от бурой у марки Б, к бурой с черноватым оттенком у марки Д, черной с буроватым оттенком у марки Г, черной с буроватым оттенком после растирания у марки Ж и остается черной у остальных марок углей К, ОС, Т, А (табл. 2).

Блеск углей определяется отражательной способностью. Он изменяется в широких пределах и зависит от петрографического состава и степени углефикации. Среди ингредиентов углей наиболее

блестящим является витрен, чуть менее блестит кларен, матовым блеском обладают дюрен и шелковистым – фузен. Из мацералов наиболее блестящим является инертинит, наименее блестящим липтинит, витринит занимает промежуточное положение по отражательной способности. Понижение блеска у ингредиента – фузена по сравнению с блеском, составляющего его мацерала инертинита, связано с пористостью фузена. Витрен обладает плотной структурой и по блеску показывает соответствие с блеском своего мацерала витринита. По этой причине блеск углей численно характеризуется средней отражательной способностью витринита (R_o), на основе которой разработана шкала метаморфизма углей [2]. По мере увеличения ступени метаморфизма блеск ингредиентов углей увеличивается (рис. 1, табл. 2). Следует отметить, что блеск изучают в блестящих ингредиентах витрене и кларене. При определении блеска у углей разных технологических марок необходимо сравнивать одинаковые ингредиенты, например витрен с витреном, но будет ошибочным сравнивать блеск матовых и блестящих ингредиентов между собой.

Механические свойства углей

Твердость (для угля точнее мягкость) оценивается в относительных единицах по шкале Мооса и изменяется в пределах 1 – 3. Ингредиенты углей в порядке уменьшения твердости составляют ряд: дюрен, витрен, кларен и фузен. Микротвердость мацералов определяется по их рельефу в анишлифах, который образуется в процессе шлифовки. Твердые мацералы имеют положительный рельеф, мягкие – отрицательный. Мацералы по твердости в последовательности ее уменьшения распределились так: инертинит (фузинит), витринит, липтинит. Несоответствие по твердости ингредиентов и слагающих их мацералов объясняется пористостью фузена и присутствием большого количества минеральных примесей в дюрене. Присутствие примесей в углях оказывает влияние на твердость углей. Примесь кварца повышает твердость до 7, пирита – до 5, кальцита – до 3, примесь глинистых минералов понижает твердость до 1. При метаморфизме твердость мацералов, ингредиентов и

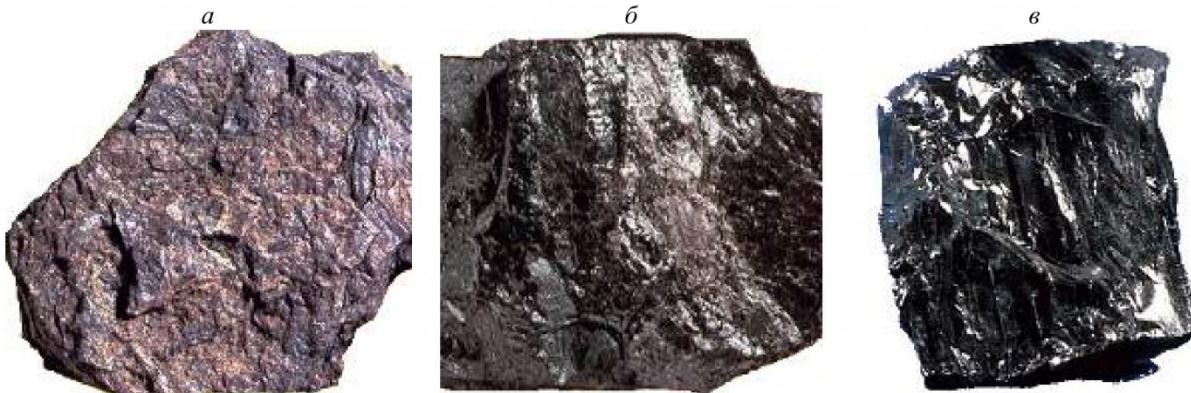


Рис 1. Увеличение блеска в клареновых углях по мере увеличения степени углефикации: а – бурый уголь, б – каменный уголь, в – антрацит

Таблица 1. Характеристика типов трещиноватости углей

Типы		Характер напряжения при разрыве	Геологические процессы	Направление		Излом
Сигенетическая трещиноватость		растяжение	диагенез	Параллельно полосчатости, слоистости		ровный, землистый по фюзену; ступенчатый, зернистый, раковистый по витрену
Первичный кливаж (эндогенный)	по витрену	растяжение	метаморфизм и $T^{\circ}\text{C}$	перпендикулярно полосчатости, слоистости	поперечные трещинки в прослоях	ровный, раковистый, гладкий
	по литотипу	растяжение	метаморфизм		две пересекающиеся системы трещин	ровный, гладкий, без следов перемещения
Вторичный тектонический кливаж (экзогенный)		сжатие	тектонические движения	перпендикулярно тектоническому воздействию, образует одну или две пересекающиеся системы трещин		неровный, шероховатый, со следами перемещения в виде борозд, штрихов, волнистых струй или зеркал скольжения
Вторичная трещиноватость выветривания (гипергенная)		растяжение	выветривание	по ослабленным направлениям		клиновидный, поверхность еоднородная, бугорчатая, карнозная

литотипов закономерно увеличивается.

Хрупкость углей связана со ступенью диагенеза и метаморфизма, а также зависит от петрографического состава. Самым хрупким является матовый мягкий ингредиент фюзен, который мажется как сажа. Витрен твердый хрупкий макрокомпонент, поэтому самый трещиноватый и раздробленный. Кларен разламывается с усилием и дает крупные куски. Дюрен плотный и вязкий уголь, с трудом раскалывается. По мере увеличения степени метаморфизма хрупкость углей сначала повышается от бурого угля к каменному до коксовой технологической марки. Уголь коксовой марки наиболее хрупок. Дальнейшее увеличение метаморфизма приводит к уменьшению хрупкости в углях от коксовой марки к антрациту. Эта закономерность изменения хрупкости, связана со спекаемостью плавких мацералов углей. Свойство хрупкости проявляется в изломе, трещиноватости и отдельности.

Излом – это форма поверхности скола углей.

Более всего излом угля зависит от петрографического состава, но также и от степени метаморфизма (табл. 2). Для рыхлых бурых углей, лишенных гумоколлинитовой цементирующей массы характерен землистый излом (рис. 1 а). У каменных углей длиннопламенной и газовой технологических марок уже проявлены сплошные, пока неровные поверхности в изломе, так как в этих углях появляется затвердевший гель коллинит – мацерал связующей основной массы (рис. 6 а). В дальнейшем процессе метаморфизма углей продолжается отвердевание коллинита, и поверхность их излома становится более ровной. В угле коксовой технологической марки излом зернистый, что связано с хрупкостью плавких мацералов (рис. 6 б). У углей отощенноспекающейся и тощей технологических марок зернистость в изломе уменьшается. Антрацит имеет раковистый излом.

Трещиноватость и отдельность углей. Трещиноватость проявлена в виде систем трещин и поверхностей скола углей. Отдельность – это

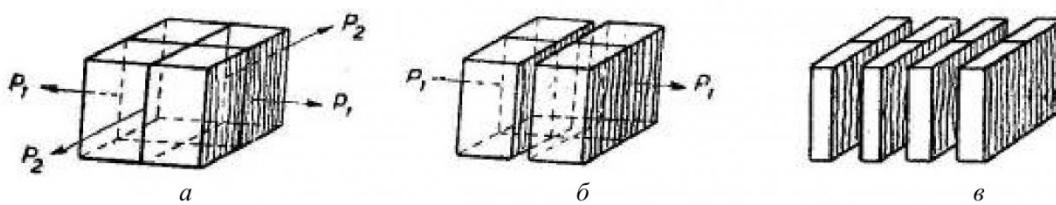


Рис. 3. Схема образования первичного эндогенного кливажа по литотипу и возникающие виды отдельности (по Г. А. Иванову) :

б – призматическая у коксового угля, в – пластинчатая у тощего угля,
а – показаны направления сил внутреннего растяжения (P_1 , P_2)

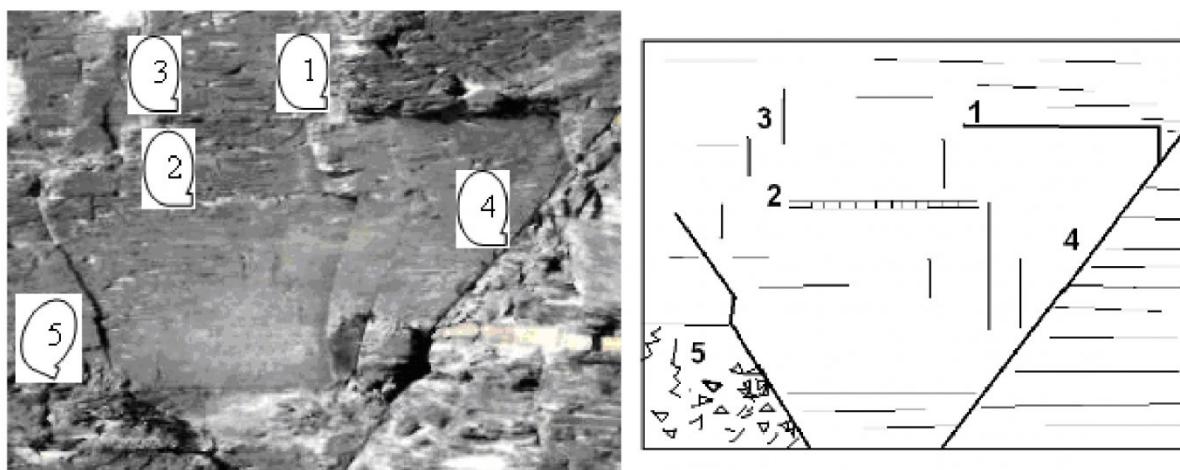


Рис. 2. Типы трещиноватости в вертикальном сколе угля: 1 – сингенетическая, 2-3 – эндогенный кливаж (2 – по витрену, 3 – по литотипу), 4 – вторичный тектонический кливаж, 5 – трещиноватость выветривания

свойство углей раскалываться на обломки определенной геометрической формы. Трещиноватость подразделяется на 5 групп (табл. 1).

Начинать определение трещиноватости угля следует с правильной установки образца. Уголь изучается в вертикальном сколе, расположенным перпендикулярно по отношению к полосчатости и слоистости (рис. 2). Если уголь имеет однородную структуру, то надо найти в нем поперечный срез по отношению к сингенетической трещиноватости. Можно также найти характерные горизонтальные сколы по простым ингредиентам витрену и фюзену. На сколе по фюзену можно видеть отпечаток структурного рисунка листа, скол по витрену характеризуется зернистым изломом. Перпендикулярно указанным поверхностям проходит вертикальный скол.

Сингенетическая трещиноватость проходит параллельно общей слоистости чаще по прослойям простых ингредиентов витрена и фюзена. Образующийся излом получается ровным, землистым по фюзену и ступенчатым, зернистым или раковистым по витрену. Сингенетическая трещиноватость закладывается в процессе отложения отмирающих растений в болоте на этапе торфообразования и проявляется в стадию диагенеза углей при дегидратации, уплотнении и биохимическом превращения торфа в бурый уголь. По характеру напряжения при разрыве сингенетическая трещиноватость относится к трещинам растяжения, возникающим при усыхании вещества. В процессе метаморфизма сингенетическая трещиноватость

уменьшается.

Трещиноватость, образующаяся в угле в стадию метаморфизма, рассматривается как кливаж. Трещиноватость кливажа представляет собой два рода трещин, не совпадающих с первичными сингенетическими трещинами. Это – первичный эндогенный кливаж и вторичный тектонический кливаж.

Первичный эндогенный кливаж (планетарный по Г. А. Иванову) образуется под влиянием литостатического давления вышележащей толщи горных пород при региональном метаморфизме. В этих условиях происходит молекулярное уплотнение и сокращение объема вещества. Первичные эндогенные трещины располагаются перпендикулярно к сингенетическим трещинам. По характеру напряжения при разрыве они являются трещинами растяжения.

В угленосной толще и пластах углей выделяется 4 вида первичных эндогенных трещин – это трещины, пересекающие пласт на всю мощность; трещины, пересекающие в пласте отдельные пачки углей; трещины, пересекающие отдельные петрографические литотипы углей внутри угольной пачки; трещины, локализованные внутри прослоев и линз блестящего ингредиента витрена [1]. Для диагностики технологической марки углей существенную роль будут играть два последних вида трещин: по литотипу углей и по витрену.

Кливаж по литотипу углей представляет собой пересечение двух взаимно перпендикулярных систем трещин, располагающихся чаще всего



Рис. 4. Схема образования эндогенного кливажа по витрену (по Г. А. Иванову): а – показаны направления сокращения «отрезка» витрена под воздействием литостатического давления (AB – исходный «отрезок» витрена, A_1B_1 – новое положение «отрезка» витрена при сокращении); б – показаны направления сил внутреннего растяжения, возникающие в витрене (a, b, c, d)

нормально к сингенетической трещиноватости. Поверхность трещин первичного эндогенного кливажа ровная, гладкая. Механизм образования первичных эндогенных трещин показан на рис. 3. По мере повышения ступени метаморфизма первичный эндогенный кливаж по литотипу увеличивается.

Эндогенный кливаж по литотипу, пересекаясь с сингенетической трещиноватостью, обуславливает различные формы отдельности (табл. 2). В угле бурой и длиннопламенной технологических марок, где в наибольшей мере проявлена сингенетическая трещиноватость, возникает слоистая отдельность параллельная полосчатости углей. В углях газовой технологической марки начинает заметно проявляться эндогенный кливаж по литотипу, и отдельность становится параллелипипедной. Параллелипеды лежат параллельно слоистости (рис. 7 а). Угли жирной технологической марки, в которых эндогенный кливаж усиливается и проявляется наравне с сингенетической трещиноватостью, имеют изометрическую отдельность. В углях коксовой технологической марки проявлена призматическая отдельность (рис. 3 б). Угли отщепенноспекающейся и тощей технологических марок имеют пластинчатую отдельность, располагающуюся перпендикулярно полосчатости (рис. 3 в). В антраците, состоящем из одного ингредиента klarena все трещины залечены и, образующиеся куски угля, имеют изометрическую отдельность (рис. 1 в).

Однако, характер трещиноватости зависит не

только от ступени углефикации, но и от петрографического состава. Намеченная закономерность по признакам отдельности лучше проявлена в блестящих углях и может в меньшей мере проявляться в матовых и полосчатых углях, где слоистая отдельность может сохраняться в высоко метаморфизованных марках.

Кливаж по витрену проявляется в виде мельчайших поперечных трещинок, локализованных внутри прослоев и линз витрена (рис. 5). Витрен, как самый плотный и хрупкий ингредиент имеет наиболее интенсивную трещиноватость, которая зависит от ступени метаморфизма. Механизм образования эндогенных трещин кливажа по витрену показан на рис. 4.

По мере увеличения литостатического давления при катагенезе углей трещиноватость витрена в природных видах и технологических марках растет в направлении Б→Д→Г→Ж→К (табл. 2). В коксовом угле трещиноватость витрена максимальная. Далее при метагенезе трещиноватость витрена уменьшается в направлении К→ОС→Т→А. Этот процесс происходит вопреки все более увеличивающемуся давлению и связан с увеличением температуры при катагенезе, которая вызывает спекание плавкого витрена и залечивание ранее образованных в нем трещин.

Изучение кливажа по витрену в количественном выражении позволяет надежно определять технологическую марку углей. Впервые кливаж по витрену было предложено измерять путем подсчета количества трещин в витреновом прослое на

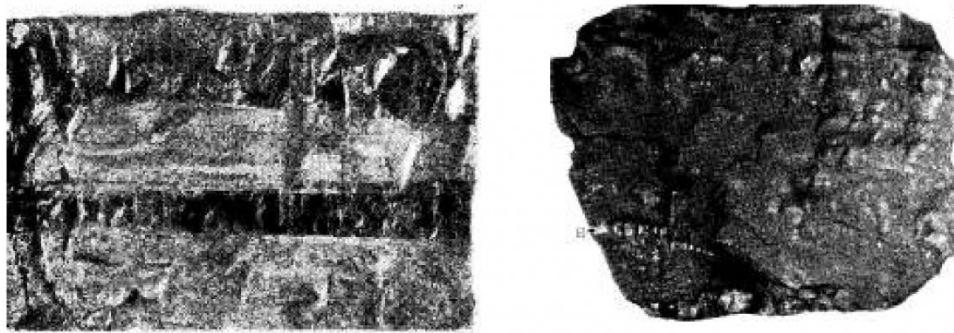


Рис. 5. Каменные угли коксовой технологической марки: а – klarено-дюрен (светлое) с прослойями витрена (темное), увел. 4x, б – фюзеноксилен (темная масса) с прослойями витрена (светлые штрихи), увел. 4x. В обоих образцах расстояние между эндогенными трещинами в витрене 1-2 мм

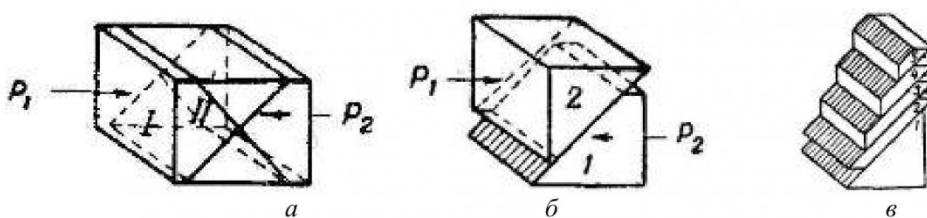


Рис. 6. Механизм образования экзогенного кливажа в угле и возникновение гребенчатой отдельности (по Г. А. Иванову): а, б, в – последовательные проявления экзогенного кливажа. P_1 , P_2 – направление внешнего тектонического давления, I, II – возникающие поверхности отдельности, 1, 2, 3, 4, 5 – поверхности скольжения и образование полос угля

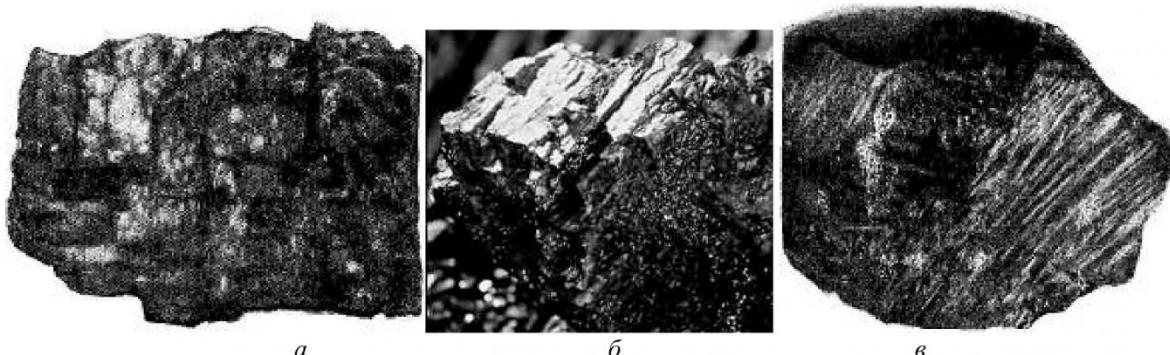


Рис. 7. Характерные изломы и отдельности углей: а – параллепипедная отдельность у газового угля; б – зернистый излом у коксового угля; в - гребенчатая отдельность тектонической природы

5 см угля [3]. Однако, прослои витрена часто бывают короче 5 см, да и подсчет количества трещин очень утомительное занятие. Для ускорения определения трещиноватости по витрену предлагаем использовать обратную величину от количества трещин и измерять среднее расстояние между ними. Расстояния между эндогенными трещинами в витрене для метаморфического ряда углей показаны в таблице 2. В бурых углях эта величина составляет > 7 мм, в технологических марках каменного угля изменяется в следующем порядке: в длиннопламенном 5-7 мм, в газовом 3-5 мм, в жирном 2-3 мм, в коксовом 1-2 мм (рис. 5), в отщепенноспекающемся 2-3 мм, в тощем 3-5мм и в антраците > 5 мм.

Вторичный тектонический кливаж (экзогенный по Г. А. Иванову) образуется под воздействием тектонических движений, и возникающего при этом бокового давления (стресса). Такой вид метаморфизма рассматривается как динамический. Тектонический кливаж представляет собой одну или две пересекающиеся системы трещин, ориентированных перпендикулярно к направлению стресса и под незакономерным углом к поверхностям наслоения,. Их интенсивность зависит от интенсивности тектонических движений. Поверхности тектонических трещин имеют следы пере-

мещения: зеркала скольжения, струйчатость, гребенчатость (рис. 7 в). Механизм образования вторичного тектонического кливажа показан на рисунке 6. Тектонический кливаж по характеру напряжения при разрыве является трещиноватостью сжатия, которое вызывает скальвание или срезание угля. Он характерен для углей, образующихся в стадию метагенеза и чаще проявлен в каменных углях технологических марок К, ОС, Т.

Вторичная трещиноватость выветривания (гипергенная по Г.А. Иванову) возникает при выветривании угля в условиях поверхности Земли. На начальных стадиях форма трещин клиновидная, раскрыта вверх и трещины располагаются в пределах слоя. При более глубоком изменении угля распадается на кусочки различной формы. Нередко вдоль трещин выветривания проявлена экзогенная минерализация в виде прожилков глины, халцедона, лимонита или пленки окисления угля в виде радужной побежалости. Поверхность трещин неоднородная, бугорчатая, кавернозная. Геометрическое расположение совпадает с ослабленными зонами в угле. Трещиноватость выветривания чаще отмечается в углях низких ступеней метаморфизма бурой и длиннопламенной технологических марок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арцер А.С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование. Книги 1, 2 / А.С. Арцер, С.И. Протасов. – Кемерово: КузГТУ, 1999. – 176 с.
2. ГОСТ 25543-88 Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. – М. ГКС СССР, 1988.
3. Жемчужников Ю.А. Основы петрологии углей/ Ю.А. Жемчужников, А.И. Гинсбург. – М.: Из-во АН СССР, 1960. – 400 с.
4. Клер В.Р. Изучение и геолого-экономическая оценка качества углей при геологоразведочных работах. - М.: Недра, 1975. – 319 с.

Автор статьи:

Шестакова

Ольга Евгеньевна

- канд. геолого-минерал. наук, доц.

каф. геологии КузГТУ

Email: Olga_shestakova@list.ru

Тел.8-950-274-2115

Таблица 2. Диагностическая природных видов и технологических марок углей

Природные виды углей		Бурый	Каменный уголь						Антрацит		
Технологические марки углей		Б	Д	Г	Ж	К	ОС	Т	А		
Ступени метаморфизма		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII-X		
Физические свойства	Цвет	бурый	буровато-чёрный	чёрный							
	Цвет черты	бурая	чёрновато-бурая	буровато-чёрная	чёрная						
	Блеск блестящих ингредиентов – витрена и klarena	тусклый смоляной	смоляной	жирный	жирный стеклянный	стеклянный	сильный стеклянный	сухой стеклянный	полуметаллический		
Механические свойства	Излом	землистый	неровный землистый	ступенчатый ровный	зернистый	ступенчатый ровный	раковистый				
	Отдельность	слоистая (параллельно полосчатости)		параллелипедная	изометрическая	призматическая	пластиначатая (перпендикулярно полосчатости)		изометрическая,		
	Сингенетическая трещиноватость	уменьшается по мере увеличения ступени метаморфизма									
	по литотипу	весьма проявлена									
		хорошо проявлены	средне проявлены	заметно проявлены	плохо проявлены	не проявлена	весьма не проявлена				
	Первичный кливаж (эндогенный)	увеличивается по мере увеличения ступени метаморфизма									
		весьма не проявлена	плохо проявлены	заметно проявлены	средне проявлены	хорошо проявлены	отлично проявлены	весьма проявлены	не проявлена		
		по витрену – расстояние между трещинами в витрене				максимальная	уменьшается по мере увеличения ступени метаморфизма				
	7–20 мм		5–7 мм	3–5 мм	2–3 мм	1–2 мм	2–3 мм	3–5 мм	>5 мм		
	Вторичный тектонический кливаж (экзогенный)	обычно не проявлена				увеличивается в зависимости от близости к тектоническому разлому					
	Вторичная трещиноватость выветривания (гипергенная)	бывает проявлена		обычно не проявлена							