

УДК 539.4:622.332:622.333

С.А. Эпштейн

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВИТРИНИТОВ УГЛЕЙ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ *

Рассмотрены основные подходы к оценке изменения механической прочности ископаемых углей при решении проблем их добычи и переработки. Предложен алгоритм параметризации изображений микроструктур углей методом фликкер-шумовой спектроскопии (ФШС); получены количественные ФШС-параметры, адекватно описывающие морфологические особенности углей разных генотипов. Показана взаимосвязь между ФШС-параметрами углей разных генотипов и показателями их микрохрупкости и истираемости.

Ключевые слова: уголь, генотип, фликкер-шумовая спектроскопия, микрохрупкость, гранулометрический состав.

S.A. Epshtein PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE COAL VITRINITES OF THE DIFFERENT GENOTYPES

The main approaches to the estimation of the mechanical strength of the coals when solving the issues of its mining and processing are reviewed. The algorithm of the image parameterization of the coal microstructures by the method of the flicker-noise spectroscopy (FNS) is proposed; the quantitative FNS parameters are obtained, the parameters adequately describe the morphological peculiarities of the coals of the different genotypes. The interrelation between FNS coal parameters of different genotypes and the parameters of its micro fragility and wearing properties is shown. flicker-noise spectroscopy, micro fragility, grain texture.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-05-00263-а

Существующие в настоящее время подходы к оценке изменения механической прочности ископаемых углей при решении проблем их добычи и переработки основываются преимущественно на данных об их петрографическом и хими-

ческом составе, а также стадии метаморфизма. Однако в рамках таких базовых представлений не представляется возможным понять хорошо известную проблему – природу существующих различий механических и физико-химических свойств углей разных месторождений, имеющих идентичных петрографический состав и близкую стадию метаморфизма. По нашему мнению, такие различия могут быть связаны с ранее не учитываемыми особенностями морфологии и структуры базового компонента углей – гелифицированного на стадии генезиса витринита, определяющего основные качественные свойства углей. Установление взаимосвязей между морфологическими характеристиками витринитов углей и изменениями их физико-механических и физико-химических свойств при внешних воздействиях позволит целенаправленно подходить к решению проблем направленного изменения механической прочности ископаемых углей.

Преобразование органического вещества ископаемых углей является предметом изучения, как геологов, так и углехимиков. В осадочной гео-

логии преобразование органического вещества диагностируют по изменению морфологии и цвета угольных мацералов, преимущественно витринита. Литолого-фациальный анализ угленосных отложений позволяет установить взаимосвязь между структурой органического вещества углей, фациальными факторами углеобразования и природой исходного растительного материала. Обобщая мнения представителей различных научных школ Ю.А. Жемчужникова, Л.И. Боголюбовой, П.П. Тимофеева, В.С. Яблокова, И.Э. Вальц, И.И. Аммосова, И.В. Еремина, А.И. Гинзбург, Л.И. Сарбеевой и др. к основным факторам, определяющим направление изменения органического вещества в процессе генезиса относятся природа исходного вещества углеобразования и характер внешней среды. Углекимический подход основан на установлении взаимосвязей между петрографическим и химическим строением вещества углей и их (углями) свойствами и реакционной способностью в различных процессах. В 40-60-х годах прошлого столетия были предприняты работы, где оба этих подхода были успешно объединены. Совместные исследования геологов, углепетрографов и углекимиков по созданию Геолого-углекимической карты Донецкого бассейна позволили установить ряд важных взаимосвязей между генетическим типом витринитов углей, их химическим составом и рядом свойств, таких например, как выход летучих продуктов и показателей спекаемости. Однако такого масштаба работы не получили дальнейшего развития, что в значительной степени привело к тому, что исследования физическими и физико-химическими свойствами углей стали развиваться в отрыве от основных представлений об их генезисе. Рассмотр-

им существующие к настоящему времени основные представления о влиянии различных параметров, описывающих ископаемые угли, на их механические и физико-химические свойства.

Петрографический состав углей оказывает существенное влияние на их прочностные и физико-химические свойства [1-6]. Эти свойства существенно различаются для индивидуальных мацералов. Мацералы группы фюзинита во всем ряду метаморфизма характеризуются наибольшей плотностью. Плотность мацералов убывает в ряду инертинит>микринит>витринит>липпинит. При показателях отражения выше 2,5-3,0% этот показатель практически выравнивается для всех мацералов. По сравнению фюзинитом витринит характеризуется большей трещиноватостью и хрупкостью, но меньшей твердостью.

Обобщение многочисленных данных, касающихся влияния петрографического состава углей на их механические свойства, позволило установить, что с увеличением в составе углей мацералов группы витринита возрастает дробимость углей, их размолоспособность и сопротивление резанию [3, 6]. Такие закономерности присущи каменным углям во всем диапазоне метаморфизма, однако различаются степенью выраженности соответствующих параметров.

Физико-химические свойства углей также существенно зависят от их петрографического состава. Особый интерес представляют данные по сорбционным свойствам углей и их газонности. В работах И.Л. Эттингера [7, 8] на примере углей Печорского и Кузнецкого бассейнов показано, что обогащенные фюзинитом угли характеризуются более высокой сорбцией

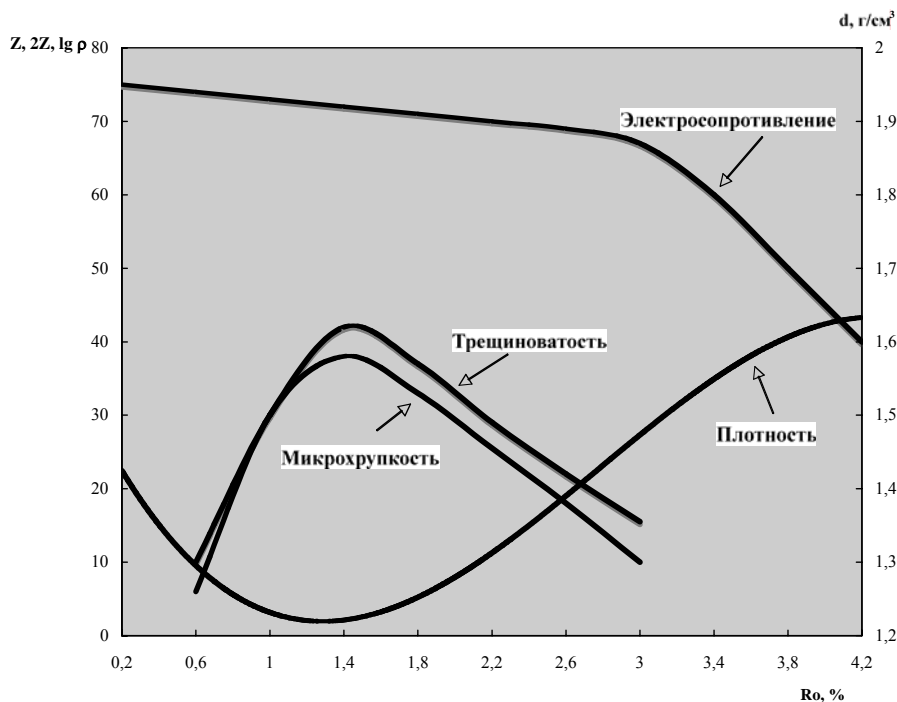


Рис. 1. Номограмма изменения действительной плотности d , эндогенной трещиноватости Z , микрохрупкости $2Z$ и электросопротивления углей $\lg \rho$ при метаморфизме [4]

диоксида углерода. Сорбционная метаноемкость органической массы витринитовых и фюзинитовых углей также различается: большие значения характерны для фюзинита. Однако сорбционная метаноемкость в значительной степени зависит от давления [9]: отличия между фюзинитовыми и витринитовыми углями особенно отчетливо проявляются при высоких давлениях. В работе [10] отмечено, что вклад различных петрографических составляющих неоднозначен для углей разных стадий метаморфизма. Так в углях IV стадии содержание фюзинита не сказывается на метаноемкости углей.

При метаморфизме под действием температуры, давления, а также гео-

логических факторов происходит трансформация органического вещества углей, приводящая к концентрированию в нем углерода, уменьшению кислорода и водорода. При метаморфизме происходит постепенная ароматизация органического вещества и образование многоядерных полициклических структур, формирующих ориентированные слои и пачки. Такая трансформация вещества приводит к количественному и качественному различию свойств углей, принадлежащих к разным стадиям метаморфизма.

На рис. 1 приведена номограмма, демонстрирующая изменение основных физических свойств витринитовых углей при метаморфизме [4].

Сложный характер изменения плотности, характеризуется минимумом в области показателей отражения 0,85-2,5%. Изменение трещиноватости и хрупкости углей имеет экстремальный характер; максимальные значения этих параметров приходятся на интервал показателя отражения, в котором плотность углей имеет минимальные значения. В этом же интервале угли характеризуются наибольшим электросопротивлением. Такой характер изменения базовых физических характеристик углей проявляется в основных физико-механических и физико-химических свойствах разнометаморфизованных углей.

Генетические типы углей, отличающиеся по происхождению и свойствам при одинаковых стадиях метаморфизма и петрографическом составе впервые были выделены отечественными углепетрографами. Применительно к ним был принят термин «восстановленность», использованный в Геолого-углехимической карте Донецкого бассейна и работах И.И. Аммосова по углям Кузнецкого бассейна. Витриниты углей сближенных пластов из одной шахты, разделённых толщей не более 100 м, испытавшие одинаковое воздействие температуры и давления, названные «изометаморфными», отличаются у более и менее восстановленных углей по ряду петрографических, физических, химических и технологических свойств [11, 12]. Угли разной степени восстановленности были практически одновременно обнаружены в Донецком и Кузнецком бассейнах, а затем в Карагандинском, Печорском и других бассейнах России [1] и за рубежом [13].

Исходный материал углей – отмершие высокоорганизованные растения, биомасса микроорганизмов и минеральные вещества в период торфонакопления и раннего диагенеза

подвергались воздействию комплекса геолого-генетических факторов, специфических для каждого угольного месторождения. Обобщая масштабные исследования углей в пластах Донецкого бассейна [12] и Прокопьевско-Киселёвского района Кузбасса [14], И.И. Аммосов определил, что главными условиями для образования разно восстановленных углей явились восстановительный характер среды (степень участия кислорода в превращениях исходного материала) и влияние минеральных примесей на эти процессы.

В обобщающих публикациях детально рассмотрены характерные особенности углей разной восстановленности по элементному составу и структурным признакам, петрографическим отличиям, физико-химическим, физико-механическим и химико-технологическим свойствам. К более восстановленным отнесены угли с более высоким содержанием водорода, повышенным выходом летучих веществ, большей спекаемостью и лучшей растворимостью в органических растворителях, но с пониженной плотностью вещества витринита на всех стадиях углефикации [1].

При исследовании физико-механических свойств витринитов углей различных месторождений было установлено [5], что микротвёрдость витринита каменных углей на низких стадиях метаморфизма (от I до III – $R_{o,r}$ от ~0,50 до 0,90%) постепенно слабо повышается и далее практически не изменяется до стадии IV ($R_{o,r}$ ~2,00%). Для изометаморфных более восстановленных углей микротвёрдость ниже, чем менее восстановленных и может быть признаком их типа по восстановленности. Микрочрупкость витринитов каменных углей постепенно возрастает от I стадии до максимальных значений на IV стадии

метаморфизма ($R_{o,r} \sim 1,30 - 1,49 \%$), а затем уменьшается к VI стадии ($R_{o,r} \sim 2,00\%$). Изометаморфные более восстановленные угли характеризуются значительно большей микрохрупкостью на всех стадиях метаморфизма. Величины микрохрупкости витринита могут служить признаками, позволяющими определять степень восстановленности каменных углей [5].

Детальные исследования свойств изометаморфных витринитов разных восстановленных углей средних пластовых проб показали, что при разделении углей разной степени измельчения (< 80 , < 150 , < 250 или < 1500 мкм) в тяжелых жидкостях по плотности, органическое вещество витринита распределяется без разрывов по ряду фракций [15]. В работах [15-18] показано, что витринит более восстановленных углей характеризуется более широким распределением по плотностям и большим содержанием вещества с меньшей плотностью. Неоднородность вещества витринита наблюдается также при разделении в тяжелых органических жидкостях с интервалом плотности разделения в $0,01 \text{ г/м}^3$ тонко измельченного угля из прослойки витрена. В этом случае также была получена серия фракций витринита, вещество которых одинаково по петрографическим признакам в простом проходящем и отраженном свете, но различно по плотности, микротвердости и поведению при нагревании [19].

Особое внимание исследователей привлекло характерное для условий генезиса разных восстановленных витринитов содержание кислорода в пластовых пробах углей вне зоны окисления. Содержание общего кислорода на органическую массу витрена в зависимости от генетического типа составляет (в %) для углей марки

Д до 15-14, для марки Г 11-8, для марки Ж 6-5, для марки К 4-3 и около 2 для марки Т. Среднее суммарное содержание кислорода в карбоксильных, гидроксильных и карбонильных группах от общего его содержания составляет (в %) в углях марки Д 47-60, Г – 32-49 до 22, К – до 10, ОС – до 5. В наибольшей степени более и менее восстановленные угли различаются по содержанию кислорода, прежде всего в активных формах связи: $-\text{COOH}$ (для длиннопламенных), $-\text{OH}$, $-\text{CO}$. Витрены менее восстановленных углей содержат значительно больше кислорода в функциональных группах [12, 20].

Объясняя природу разной восстановленности изометаморфных углей, исследователи называют в качестве причин как минимум 2 фактора: различие в исходном растительном материале и фациальные условия генезиса углей. В работах, связанных с созданием Геолого-углехимической карты Донбасса, была установлена связь между степенью разложения исходного растительного материала углей (диагностируемая в тонких шлифах в поляризованном проходящем свете) и типом углей по восстановленности. Однако в дальнейшем генотип витринитов по восстановленности стали определять по косвенным признакам: выходу летучих, содержанию кислорода и водорода, спекаемости для углей одной стадии метаморфизма и близкого петрографического состава. Такой подход достаточно надежно показал себя при создании единой промышленно-генетической классификации углей, где фактор восстановленности определяет группу и подгруппу углей. Но для оценки физико-механических и физико-химических свойств углей такой подход не достаточен. Механические и физико-химические свойства углей в значительной мере определяются текстурой

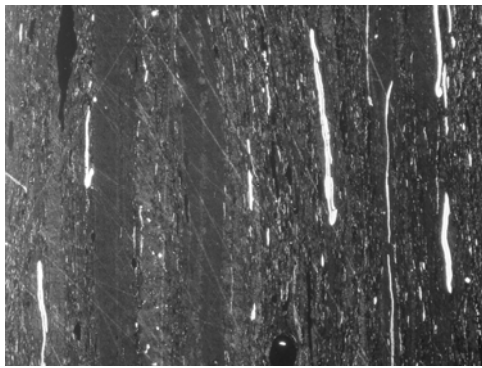
вещества в целом, т.е. его вещественной неоднородностью, размерами и формой составляющих элементов, а также характером границ между ними. И в этом случае, оценка вещества углей с точки зрения его морфологии, напрямую связана с исследованиями структуры и текстуры углей методами литолого-фациального анализа, который является основой генетической классификации ископаемых углей.

Качественные характеристики и базовые свойства изометаморфных разновосстановленных углей, как было отмечено ранее, существенно различаются. В связи с этим возникают вопросы, касающиеся, с одной стороны, природы этих различий, и, с другой стороны, критериев отнесения того или иного угля к определенному генотипу. Эти вопросы безусловно связаны между собой, однако преследуют разные задачи. Фундаментальные вопросы образования и эволюции угленосных формаций, осадочном процессе в целом и о роли отдельных его стадий, являются предметом исследования в петрологии, стратиграфии, геотектонике, палеоботанике, геологии и т.д. Вопрос о критериальных оценках разновосстановленности ископаемых углей для определения и прогноза их свойств в условиях залегания, добычи и переработки, имеют более прикладной характер и должен рассматриваться во взаимосвязи с исследованиями свойств углей на разных масштабных уровнях. Критерии должны быть общими для всей угольных бассейнов и рассматриваться в комплексе с существующей промышленно-генетической классификацией углей, разработанной по руководством И.В. Еремина.

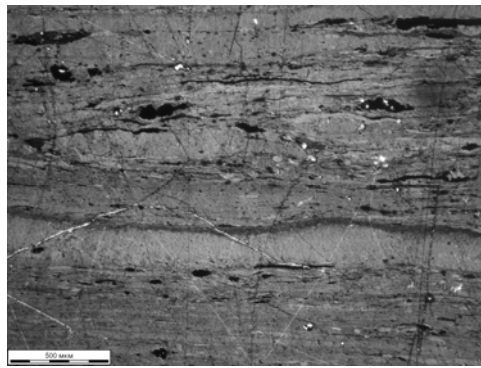
В этом направлении фундаментальные исследования осадочного процесса, выполненные в последние десятилетия ХХ столетия П.П. Тимо-

феевым, Л.И. Боголюбовой и др. [21, 22], позволили выявить общие закономерности в формировании структуры органического вещества и вмещающих пород углей большинства угольных месторождений и бассейнов. На основании этих исследований была создана генетическая классификация гумусовых углей бассейнов и угольных месторождений России и стран СНГ. Основным параметром этой классификации принят *генетический тип углей*, характеризующий органическое вещество углей во всем метаморфическом ряду по степени разложения лигниноцеллюлозных тканей. Генетические формы гумусовых углей по типу вещества углеобразующих микрокомпонентов подразделяются на генетические подгруппы. Так, например, угли телинитовой группы включают шесть генетических подгрупп, преколлинитовой – пять генетических подгрупп и т.д. Каждой генетической подгруппе углей соответствует та или иная фация торфо-накопления. Так, гелинито-телинитовой группе углей отвечает фация осадков подвижного сильно обводненного застойного торфяного болота, гелефюзенито-коллинитовой подгруппе – фация осадков устойчивого периодически обводненного застойного торфяного болота и т.д.

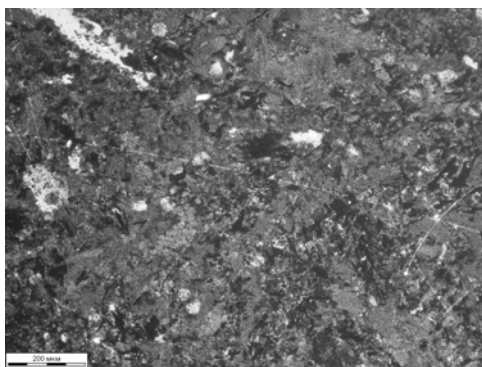
Генетические подгруппы углей по соотношению углеобразующих и второстепенных компонентов с учетом исходного материала (в случае возможного определения) подразделяются на генетические типы. Так, например, гелинито-телинитовая группа состоит из семи генетических типов углей (гелефюзенито-гелинито-телинитовый крупнодревесный, гелинито-телинитовый паренхимный и т.д.). Гелинито-коллинитовая подгруппа состоит из 15 генетических типов углей (гелинито-коллинитовый с гелифюзе-



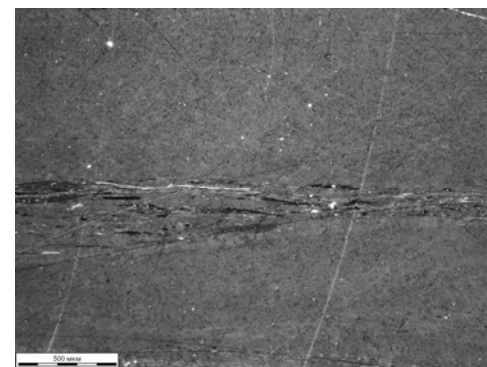
I генотип



III генотип



IV генотип



II генотип

Рис. 2. Микрофотографии углей разных генотипов

нитом, гелинито–коллинитовый со спорами и пылью, гелинито–коллинитовый с кутикулой, гелифузинито–гелинито–коллинитовый и т.д.).

В зависимости от степени разложения исходного растительного материала, угли подразделяются на 5 генетических типов: угли первой генетической группы – телинитовые угли, второй генетической группы – посттелинитовые угли, третьей генетической группы – преколлинитовые угли, четвертой генетической группы – коллинитовые угли, пятой генетической группы – липтинитовые угли.

Каждый генетический тип угля определяется следующим комплексом признаков: 1) структурой и текстурой вещества углеобразующих микроком-

понентов; 2) типов вещества углеобразующих микрокомпонентов; 3) определенным соотношением углеобразующих и второстепенных микрокомпонентов; 4) исходным материалом углеобразующих микрокомпонентов (в случае возможного его определения); 5) тем или иным количеством минеральной примеси.

Таким образом, генетический тип угля является параметром, характеризующим морфологию вещества, его структуру и текстуру, и не зависит от стадии метаморфизма угля и является обобщенным для различных угольных бассейнов.

С этих позиций были проведены исследования, цель которых состояла в выявлении взаимосвязей между

морфологическими и структурными особенностями витринитовых углей разных генотипов и их физико-механическими свойствами. Состав и свойства исследуемых углей Донецкого и Кузнецкого бассейнов были ранее описаны в работах [23,24]. До последнего времени определение генотипа углей было основано на визуальном описании. Несмотря на высокую надежность и информативность такого определения, не представляется возможным использовать полученные данные для установления количественных взаимосвязей с различными свойствами и характеристиками углей. В этой связи были проведены работы по параметризации изображений микроструктур углей. В качестве методологии такого анализа была использована фликкер-шумовая спектроскопия – ФШС, которая ранее апробированная при параметризации сложных поверхностей разной природы [25]. Сущность ФШС-подхода состоит в придании информационной значимости корреляционным взаимосвязям, которые реализуются в сложных хаотических сигналах разной природы. Это могут быть временные последовательности (временные ряды) измеряемых динамических переменных, характеризующих эволюцию открытых нелинейных систем с неизбежным проявлением в такой динамике диссипативных процессов и инерционности реальных подсистем. Это могут быть поверхностные структуры, формируемые в ходе сложной эволюции и представляемые массивами измеряемых локальных значений «шероховатостей», или другого типа пространственно организованные хаотические последовательности (ряды). Согласно ФШС представлениям, соответствующая информация содержится в спектрах мощности и разностных моментах 2-го порядка

(«структурных функциях») исследуемых сигналов. При сопоставлении общих выражений для разностных моментов и спектров мощности с соответствующими зависимостями, построенными на основе реально измеряемых сигналов, извлекаются феноменологические параметры, которые могут рассматриваться как «паспортные характеристики» исследуемого процесса. Часть этих параметров характеризует протяженность областей корреляционной связанности («длин корреляции») измеряемых динамических переменных по вводимым типам нерегулярностей, другая часть содержит информацию о характере потери корреляционных связей в интервалах корреляционных длин. Основное отличие ФШС от иных методов анализа хаотических структур состоит в введении информационных параметров, характеризующих составляющие исследуемых изображений в разных диапазонах пространственных частот, и реализации необходимых процедур для выделения таких параметров, в том числе, отражающих особенности оптического рельефа анализируемого изображения в интересующем частотном диапазоне. При этом в качестве основных параметров рассматриваются: σ – мера ступенчатости изменяющейся контрастности, (усл.ед), как среднеквадратическое отклонение значений контрастности от среднего уровня S_{01} – фактор острейности в изменениях контрастности (усл.ед) как мера нерегулярностей-всплесков, наиболее высокочастотных изменений в контрастности на пространственных масштабах $L < L_0$. Помимо указанных, в качестве дополнительных характеристик, определяющих индивидуальность каждого профиля рельефа контрастности в частотном диапазоне $f \sim (0.005 - 0.02)$ мкм⁻¹, вводятся параметры L_0 и L_1 –длины корреляции

Диапазоны изменения ФШС-параметров оцифрованных фотоизображений углей разных генотипов

Генотип	ФШС-параметры			
	σ усл. ед.	S01, усл. ед.	K σ	Ks
I	10,6-85,6	$1,1 \cdot 10^4$ - $3,4 \cdot 10^5$	1,1-3,5	1,1-14,0
II	4,4-19,1	$1,9 \cdot 10^3$ - $2,9 \cdot 10^4$	1,0-1,9	1,1-3,0
III	7,3-10,5	$5,5 \cdot 10^3$ - $1,5 \cdot 10^4$	1,0-2,0	1,2-1,9
IV	5,7-8,0	$2,3 \cdot 10^3$ - $5,1 \cdot 10^3$	1,0-1,3	1,0-1,3

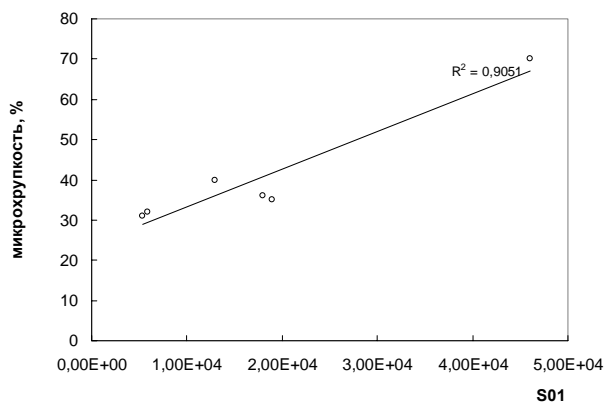
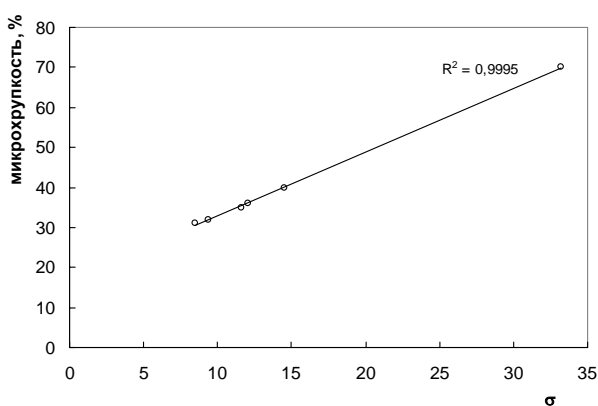


Рис. 3. Влияние ФШС-параметров на показатель микрохрупкости витринитов углей

для нерегулярностей-всплесков и нерегулярностей-скачков. Развитый подход для определения параметров микроструктур углей разных геноти-

пов был реализован при анализе образцов тонких шлифов углей I-IV-го генотипов более чем 100 углей различных месторождений бывшего СССР (Донецкий, Кузнецкий, Карагандинский, Иркутский, Якутский, Улугхемский бассейны). На рис. 2 представлены типичные микроструктуры витринитов углей разных генотипов.

В таблице приведены статистические параметры, полученные при обработке оцифрованных микроизображений методом ФШС.

По мере гомогенизации гелефицированного витринитового вещества углей при переходе от I генотипа ко II и т.д. происходит постепенное уменьшение основных параметров, характеризующих нерегулярности формирующихся структур.

При близости характерных значений соответствующих параметров для I-го и II-го генотипов выявляется заметное различие отношений σ и S01, определенных при анализе изображений шлифов, полученных при их ориентации в двух взаимно перпендикулярных направлениях, т.е. при двух разных выборах осей x и y относительно исходного шлифа (соответственно K σ и Ks). В случае углей I-го генотипа диапазон различий отношений параметров σ и S01, определенных в двух указанных случаях, составлял соответственно 1,1-3,5 и 1,1-14,0.

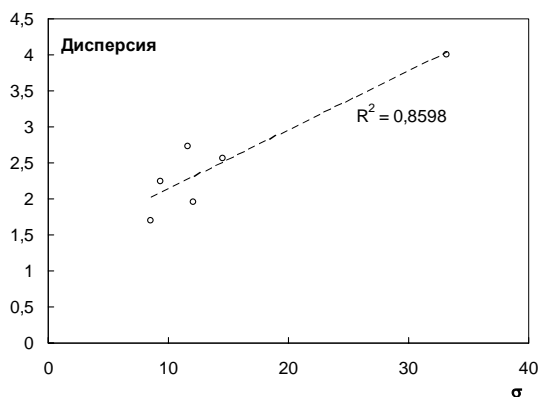
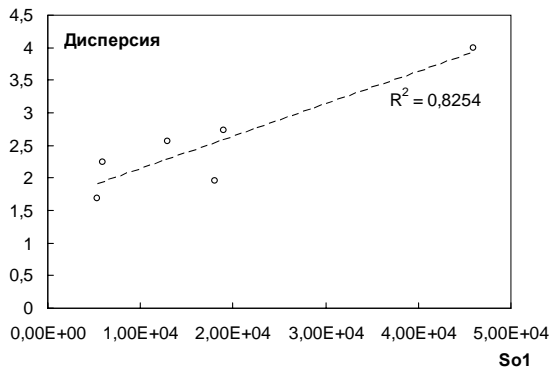


Рис. 4. Влияние ФШС-параметров на показатель дисперсии распределения частиц по размерам после измельчения (для класса менее 250 мкм)

Для углей II-го генотипа эти соотношения составляли 1,0-1,9 и 1,1-3,0, что свидетельствовало о большей гомогенизации углей II-го генотипа по сравнению с углями I-го генотипа. Наиболее существенные различия наблюдались при переходе к углям IV генотипа: в этом случае параметры σ и S01 характеризуются низкими значениями и узким диапазоном их изменения. Соответствующие значения $K\sigma$ и Ks близки к 1.

Для установления базовых взаимосвязей между параметрами, характеризующими морфологические особенности гелефицированного вещества витринитов

и их физико-механическими свойствами, была использована коллекция углей, ранее описанная в работе [24]. Коллекция состоит из пластово-промышленных проб витринитовых углей Донецкого и Кузнецкого бассейна разных стадий метаморфизма. Угли отобраны из смежных пластов; в рамках одной или близких стадий метаморфизма в коллекции представлены угли, относящиеся к разным генотипам.

На рис. 3 представлены результаты сопоставления ФШС-параметров 6 проб углей разных генотипов с показателями микрохрупкости углей. Микрохрупкость углей определяли стандартным методом по относительному количеству отпечатков с трещинами после индентирования (нагрузка-20 кгс/мм²). Увеличение параметров, характеризующих гетерогенность угольных структур, приводит к пропорциональному увеличению хрупкости углей. Так, при увеличении параметра σ от 8,5 до 33,2 микрохрупкость углей пропорционально повышается от 31 до 70%. Подобная зависимость наблюдается при сопоставлении параметров S01 и микрохрупкости.

Как ранее было показано, микрохрупкость углей определяет их размоловоспособность и содержание мелких классов углей. Исследуемые угли были обработаны в шнеково-дисковом измельчителе. Исходная крупность углей составляла 7-10 мм. После измельчения ситовым методом определяли гранулометрический состав уг-

лей по классам крупности: более 1 мм, 0,5-1 мм, 0,25-0,5 мм и менее 0,25 мм. Дополнительно было проведено определение гранулометрического состава класса менее 0,25 мм. Определение проводили методом IMAGE-анализа на оптической установке, состоящей из микроскопа OLYMPUS-31B проходящего света, совмещенного с видеосистемой. Обработку данных осуществляли по методике, описанной в работе [26], с использованием лицензионного программного обеспечения для оцифровки и обработки изображений IMAGESCOPE M. Данные ситового анализа показали, что количество мелочи (менее 250 мкм) в пробах углей I генотипа на 3-7% выше, чем соответствующие значения для изометаморфных углей IV генотипа. При сравнении изометаморфных углей I и II генотипов гра-

нулометрический состав отличается незначительно.

Особенности морфологии вещества углей разных генотипов, отражающие различия в степени гетерогенности их макроструктуры, проявляется и в характере распределения частиц по размерам во фракции менее 250 мкм. На рис. 4 приведены зависимости между базовыми ФШС - параметрами углей и характеристикой распределения частиц (дисперсией $-D$). Высокая гетерогенность углей I и II генотипов определяет более широкое распределение частиц по размерам.

Таким образом, морфологические особенности углей разных генотипов, характеризующие степень гетерогенности их вещества, в значительной степени определяют их микрохрупкость при механическом нагружении и гранулометрический состав при измельчении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремин И.В., Арцер А.С., Броновец Т.М. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса. Кемерово: Притомское, 2001. 400 с.
2. Еремин И.В., Броновец Т.М. Марочный состав углей и их рациональное использование. М.: Недра, 1994. 254 с.
3. Артемьев, В.Б., Еремин И.В., Гагарин С.Г. Петрография углей и их эффективное использование. М.: Недра, 2000. 336 с.
4. Артемьев, В.Б., Еремин И.В., Гагарин С.Г. Условия образования и характерные признаки динамически активных углей. М.: Недра ком-мюникейшенс ПТД, 1999. 496 с.
5. Аммосов И.И., Еремин И.В., Бабинкова Н.И. и др. Петрографические особенности и свойства углей. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 164 с.
6. Еремин И.В., Лебедев В.В., Цикарев Д.А. Петрография и физические свойства углей. М.: Недра, 1980. 263 с.
7. Эттингер И.Л. Необъятные запасы и непредсказуемые катастрофы. Твердые растворы газов в недрах Земли. М.: Наука. 1988. 176 с.
8. Эттингер И.Л., Еремин И.В. Пористость и пустотность каменных углей. // Изв. АН СССР. Серия геологич. 1980. №5, с. 124-129.
9. Быкадорова В.И., Матвеева И.И., Полферов К.Я. О влиянии петрографического состава на размоловоспособность углей // Химия тв. топлива. 1970. № 4. с. 28-33.
10. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. М.: Наука, т.1-3, 1979-1980.
11. Петрология палеозойских углей СССР. М.: Недра, 1975. 213 с.
12. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна. Вып. VIII. М.: Углетехиздат, 1954. 428 с.
13. Еремин И.В., Броновец Т.М., Супруненко О.И. и др. // ХТТ. 1983. №4. с.3-10.
14. Аммосов И.И. // Изв. АН СССР. ОТН. 1944. №10-11. с.784-790.
15. Гречишников Н.П. Методы исследования вещественного состава твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1964. 196 с.

16. Аммосов И.И // Химия и генезис твёрдых горючих ископаемых. Тр. Всесоюз. совещ. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 287.
17. Аммосов И.И // Химия и генезис твёрдых горючих ископаемых. Тр. Всесоюз. совещ. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 26.
18. Аммосов И.И // Химия и генезис твёрдых горючих ископаемых. Тр. Всесоюз. совещ. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 295.
19. Бронштейн А.П., Бекетова Л.А., Супруненко О.И. // Кокс и химия. 1988. №8. с. 8-13.
20. Гаврилова О.И. // В кн. «Физические и химические свойства ископаемых углей». Изд АН СССР, М-Л.: Вып. XIV, 1962. С.173.
21. Боголюбова Л.И., Яблоков В.С. Генетические типы углей среднего карбона юго-западной части Донбасса // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1951. №6. с. 110-119
22. Тимофеев П.П. Эволюция угленосной формации в истории Земли. М.: Наука. 2006. 206 с.
23. Эпштейн С.А., Супруненко О.И., Барабанова О.В. Вещественный состав и реакционная способность витринитов каменных углей разной степени восстановленности // Химия твердого топлива. 2005. №1. с. 22-35.
24. Эпштейн С.А., Барабанова, О. В., Минаев В.И. и др. Влияние обработки углей диметилформамидом на их термическую деструкцию и упругопластические свойства // ХТТ. – 2007. – № 4. с. 22-28.
25. Тимашев С.Ф. Фликкер-шумовая спектроскопия. Информация о хаотических сигналах. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. 248 с.
26. Эпштейн С.А., Барковская В.А., Горлов Е.Г. Определение дисперсности композиционных водоугольных топлив. // ГИАБ.-2006. №1. с. 336-339. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Эпштейн С.А. – Московский государственный горный университет, apshstein@aha.ru



РУКОПИСИ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Заволокин Д.В. Реализация методических принципов по выбору рационального варианта отработки запасов геоструктур участков угольных месторождений zavolokindv@gmail.com (708/08-09 от 05.06.09) 8 с.

Изложены методические принципы выбора рационального варианта отработки запасов геоструктур участков угольных месторождений, а также представлена их практическая реализация на примере горно-геологических условий шахты «Ерунаковская VIII».

Ключевые слова: геоструктура, шахта, разведочная скважина, кластерный анализ, коэффициент извлечения запасов, чистый дисконтированный доход, бюджетная эффективность.

The article generalizes methodical guidelines on an alternative of rational resources processing of the geological structure on the coal unit deposits and shows its state-of-the-practice in terms of mining and geological conditions of the coalmine «Erunakovskaya VIII».

Docuterm: geological structure, coal mine, borehole, cluster analysis, recovery efficiency, net present value, budget effectiveness.