ISSN 0135-3500. Зап.Санкт-Петербургского горного ин-та. 1993. Том 137

УДК 553.9(477.61/62)001.5

В.В.КИРЮКОВ, Н.ЛОЧКУР

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ДОНЕЦКИХ УГЛЕЙ (ОПЫТ СИСТЕМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ)

Дается геологическая характеристика процессов углеобразования. Рассматриваются системы углеобразования, включающие природные факторы, которые определяют свойства и состав ископаемых углей. Обосновывается принцип классификации донецких углей на основе системного подхода. Обсуждаются вопросы прерывно-непрерывного рядов метаморфизма углей и предлагаются альтернативные модели формирования углей различной восстановленности, а также принципы выбора шкал классификации углей.

Принципы системного исследования угленосных формаций, углей и угольных месторождений рассмотрены авторами ранее [4-6]. В этой статье основное внимание уделим вопросам системного моделирования и прогнозирования качества и марочного состава донецких углей.

Основные принципы системного исследования в теории углеобразования следующие: причинность и взаимообусловленность (петрографический состав и стадийность изменения углей); инвариантность и взаимная дополнительность параметров (выход летучих веществ, показатель отражения витринита и др.); наблюдаемость, эмпирическая проверяемость и простота. Все эти принципы используются в выделении основных структурно-системных типов угленосных формаций и углей: х о л и с т и ч е с к о г о - уголь, угольный пласт, угленосная формация; с т а д и а л ь н о г о - бурые угли, каменные угли, антрациты; п р о ц е с с у а л ь н о г о - по геологическим горно-технологическим и технологическим данным. В структуре угленосной формации и ее партиалитов отражаются внутренние и внешние особенности систем, их упорядоченность в зависимости от иерархии и функций. Эти системы сочетают в себе как детерминированность, так и стохастичность (табл.1).

Геологические системы углеобразования обладают свойствами взаимодействия с внешней средой и самоорганизации с неравновесными эквифинальными термодинамическими процессами в открытых системах и уравновешенными процессами - в закрытых. Системы характеризуются двумя-тремя базовыми признаками.

Функционирование систем углеобразования определяется пространственными и временными связями и отношениями, которые характеризуются совместимостью, коррелированностью, субординацией и координацией, эмерджентностью. Причинные и случайные связи, характеризующие системы угленакоп-

Таблица 1

Структурная схема системного подхода в исследовании систем углеобразования

Объект	Уголь, сложенный микрокомпонентами и минералами; горючая горная порода растительного происхождения, классифицируемая по составу, структуре, условиям образования, свойствам, направлениям использования; объект разведки, добычи и утилизации			
Предмет	Уголь – горная порода, система партиалитов и элементов; первичные и вторичные фации углеобразования, партиалит угольного пласта и угленосной формации			
Аспект	Вещественно-минералогический – исходная масса и некробиомасса, торф, погребенный торф, микрокомпоненты и органоминеральные комплексы, твердая, жидкая, газообразная фазы			
	Структурный – соотношение микрокомпонентов, надмолекулярная, молекулярная размерности			
	Генетический – био- и геохимические фации, тип систем углеобразования			
	Прагматический – направления использования			
Структурно-системный тип	Холистический	Иерархический	Стадиальный	Процессуальный
	Уголь – единое целое в составе пластов, добытая и используемая масса	Уголь – классификационная упорядоченность разделения на группы, классы, типы и подтипы	Квантирование прерывисто-непрерывное по стадиям в ряду метаморфизма	Взаимоотношения до и после протекания процессов гумификации, битуминизации, восстановления и окисления
Вход в систему	Первичные и вторичные фации; углеобразующие фитоценозы; факторы открытой и закрытой пассивной и активной систем	Микрокомпоненты, минералы, их парагенетические ассоциации	Изменение характеристик системы углеобразования: давление, теплота, время	Окислительно-восстановительный и энергетический потенциалы, геохимические барьеры и агенты; энтропия и энтальпия процессов
Выход в системы	Маркировка углей	Характеристика органической и неорганической массы углей	Характеристика свойств углей разных стадий изменения	Использование природных закономерностей для прогноза свойств и шихтования

ления, находятся как в динамических, так и в статических состояниях, которые могут быть сильными и слабыми, активными и пассивными, существенными и несущественными, равноправными и неравноправными, направленными и ненаправленными, входными и выходными. Мы различаем минимальное логическое и реальное фактическое число действующих связей, необходимых для достижения заданных или фактических результатов.

Число элементов партиалитов системы сокращается с повышением уровня иерархии. Обобщающая характеристика зависит от асимметрии свойств в их исходной совокупности. Так, мощность сложного пласта лимитируется предельной зольностью совместно вынимаемой угольной массы, т.е. наблюдается скрытая связь партиалитов угольного пласта.

Системный подход и методика системных исследований основаны на представлениях о целостности систем угленакопления и угленосной формации. В учении о системах угленакопления понятия "система", "структура", "информация" неразрывно связаны с представлением о цели. Выделяют целенаправленные системы, способные к адаптации и регулированию. Это природно-естественные системы угленакопления, в которых с познавательной точки зрения цель – определенное состояние системы, а с практической – конечный ожидаемый запрограммированный результат (марка угля или тип угольного пласта). Альтернативны к указанным целеустремленные системы, не склонные к адаптации и регулированию, реализуемые под действием внешней среды, например выветривание углей с ликвидацией угольного пласта. Четкий выбор цели предусматривает выбор системы исследования. Предпочтение отдается цели, поскольку при неправильно выбранной цели решение отсутствует.

Геологическое моделирование систем углеобразования рассматривается как способ решения задач прогноза [1,5,7]. Модель рассматривается как некий объект – заместитель оригинала, обладающий существенными преимуществами удобства [10]. Модель в широком смысле – это философская категория и определенный этап целенаправленного исследования. Различают несколько видов моделей: абстрактные – идеальные конструкции, построенные средствами мышления, например угленосные формации; познавательные – форма организации знаний методами информатики, отражают существующий уровень знания, например об угленакоплении; прагматические – средство управления информацией для достижения определенной цели, например, подразделение месторождений по сложности разведки и отработки или классификация углей с учетом направлений использования; знаковые или сигнальные – использующие принципы кодирования, учитывающие семиотику и синтаксис знаков и отношений между ними, например кодовые классификации углей.

Реализация моделей предусматривает анализ соответствия между моделью и действительностью. Неизбежность упрощения моделей предопределена условиями их построения и ограниченностью возможностей.

Широкое распространение в решении задач практической угольной геологии, т.е. в подсчете запасов, маркировке углей, геолого-экономической оценке шахтных полей и др., получили материальные (реальные) модели геологии, предполагающие определенную схожесть оригинала и модели. При обосновании выбора моделей используются: прямое подобие – средство замещения оригинала (ящичное коксование, лабораторные термические испытания углей; испытания физико-механических свойств, различные виды химических, минералогических, петрографических и других анализов); косвенное подобие при моделировании горно-геологических и гидрогеологических условий, при определении параметров системы разведки и оценки шахтных полей путем разработки инструктивных и нормативных материалов; условное подобие – карты, разрезы и другие графические построения (выделение блоков по типам сложности, категориям запасов и др.); знаковое подобие – использование кодов (кодировании и декодировании), учитывающих возраст слоев (свит, толщ), таксономию, порядок построения модели и др.

Сочетания истинного и ложного в моделях, их приближенность и упрощенность как характеристики моделей взаимосвязаны. Ценность моделей процессов угленакопления как формы геологических знаний заключена в их объективности. Истинные и условно-истинные (верные на начальной стадии литогенеза или при других условиях) или предположительно-истинные (условно-истинные при неизвестных условиях) положения не всегда сохраняют свое место в модели, например, при сгущении разведочной сети, при ведении горных работ, при переработке и использовании углей. Упрощенность и приближенность являются неотъемлемыми свойствами моделей, поскольку природный процесс более сложен, чем модель, а при упрощении выявляются главные эффекты. Приближенность не препятствует достижению цели.

Каждая модель имеет обозримый во времени срок подтверждаемости, длительность которого даже с учетом определенной консервативности горного производства и его медлительности не так уж велика. Циклы разведочных работ регламентированы требованиями потребителя (цель), наличием технических средств, совершенством методики моделирования, изменяющимися во времени. Например, в разведке Донбасса выделяются следующие этапы: 1) до Великой Отечественной войны – несовершенный уровень разведки в целом; 2)1945–1968 годы – низкий уровень геофизических работ; 3) 1968–1978 годы – становление современного уровня; 4) 1978 г. – настоящее время – кризис методики оценки, отставание в применении ЭВМ.

Знания об угольных месторождениях, являющиеся основой их моделей, разделяются по видам на: продукционные – по конечному результату; декларативные – обоснованные базой данных; процедурные – содержащиеся в правилах; управляющие – определяющие общее направление исследований и др. Для моделей угольных месторождений характерны модульные свойства. С целью достижения одноразовости операций и их упрощения используются приемы структурирования базы данных моделей углеобразования и их квантифицирование.

Продукционные модели учитывают соответствие операционных промежуточных данных, предусмотренных рациональными комплексами исследуемых параметров, конечным результатам – классификации углей и др.

Декларативные модели используют методы отрицания (опровержения) по алгоритмам, устанавливающим наличие противоречивых формул. Система опровержений приводит к ложному росту базы данных, в то же время часть информации теряется. Типичной декларативной моделью углеобразования является непрерывный ряд метаморфизма углей.

Процедурные модели основаны на процедуре представления знаний в статических структурах и логических операциях, например, геологическое строение и история развития угольных месторождений или "умалчиваемое" предположение о перерывах в угленакоплении и др.

Модели структурирования состоят из нескольких стереотипов, включенных в базу данных, что уменьшает число комбинаций. К моделям этого типа относятся нормативная система разведки и учета запасов.

Понятие "модель" включает объект и субъект моделирования, задачу всей операции моделирования, средства (материалы), составляющие модель, и среду, в которой модель используется или функционирует.

Рассмотрим основания классификационной модели донецких углей среднего и верхнего карбона. Угли сложены гелифицированными остатками перидермальных коровых, стеблево-древесной и листьевой паренхимы [3]. Углеобразующие процессы фации биохимической углефикации протекали в двух генеральных направлениях – гумификации и битуминизации. Преобладал процесс гумификации с образованием преимущественно гуминовых соединений. При битуминизации повышалась восстановленность углей. Эти процессы протекали с постепенным затуханием действия микробиологического фактора в торфогенном слое при осадконакоплении и в зрелом торфе и бурых углях на стадии диагенеза. Перекрытие угольного пласта в регрессивную фазу движений осадконакопления континентальными отложениями, а в трансгрессивную – лагунными и морскими определяло первичные процессы углеобразования (табл.I).

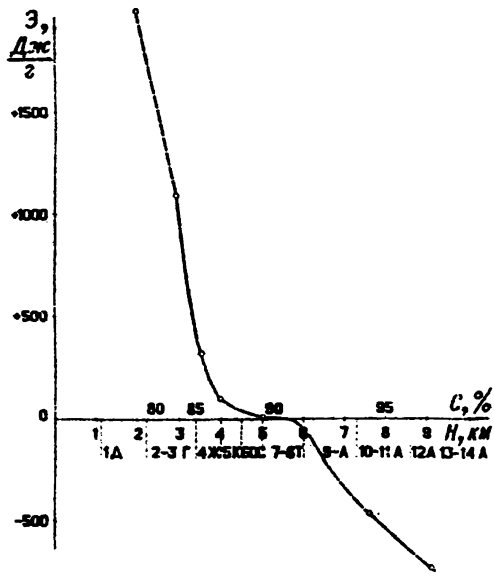


Рис.1. Термодинамический эффект энтропии и энтальпии углеобразующих процессов в связи с метаморфизмом углей и глубиной их погружения. Пл. k_8, Донбасс. Испытания по данным К.Усенбаева [11]

На стадии катагенеза углеобразование проходило под действием термобарических факторов и сопровождалось диссипацией новообразующихся углеводородных соединений и оксида углерода с достаточно четко выраженным энтропийным эффектом потери масс. Анализ данных по термодинамике углеобразующих процессов, протекающих на стадии катагенеза, показал отсутствие резких фазовых переходов в ряду метаморфизма, уменьшение абсолютных значений энтропии с разнонаправленным (на стадиях начального и конечного метаморфизма) протеканием энтальпии. Внутренняя энергия в ряду метаморфизма уменьшается (рис.I).

Таким образом, для целей классификации можно использовать термодинамические эффекты с разделением углей на группы: I) бурые, марки Д и Г; 2) марки 4Ж, 5К, 6ОС; 3) марки 7-8Т и 9-14ПА и А. В интервале бурые угли – каменные угли 2-3Г метаморфизм сопровождался поглощением энергии; в интервале 4Ж-6ОС процесс поглощения-выделения энергии был равновесным, а на стадиях 7Т-14А проходил с выделением энергии. Термодинамическая харак-

теристика процесса метаморфизма углей является основой классификации углей как твердого топлива и зависит от химического (элементного) состава и структуры органического вещества углей и наличия балластных минеральных примесей и влаги. Ступенчатая смена термодинамических характеристик однородных углей при метаморфизме четко заметна на графиках со шкалой доинверсионных глубин погружения (шкалой мощностей) (рис.I).

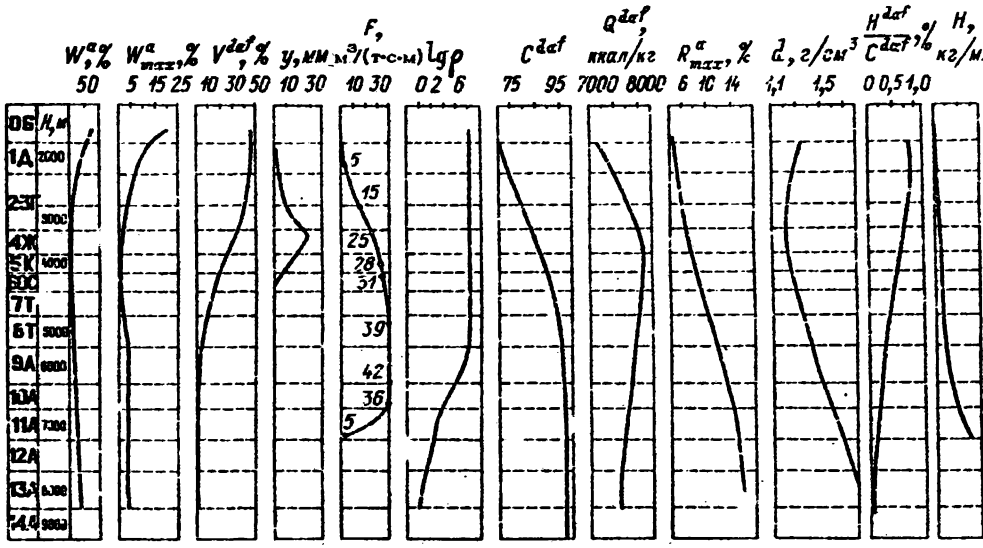


Рис.2. Изменение классификационных параметров и свойств донецких углей с глубиной и по стадиям метаморфизма

Показатели углей, используемые как классификационные параметры для дифференциации их по степени углефикации, изменяются неравномерно (рис.2), а разнообразие направлений использования углей и способов определения подразделений классификации углей и измерительных шкал обуславливают способы квантования и типы шкал при установлении марочного состава и качества углей (табл.2). Основные требования, предъявляемые к классификационным параметрам: равномерность изменения, масштабная эквивалентность подразделений классификации, минимально достаточное число параметров и их применение для всего ряда изменений углей (сквозной характер использования), одинаковая разрешающая способность, - не соблюдается как в ГОСТ 25543, так и в бассейновых классификациях [9].

Принципы системного подхода (см. табл.I) позволяют более четко объединить комплекс показателей, характеризующих тип систем углеобразования по их раскрытию (рис.3). Из предложенного дерева графов (рис.4) развития систем углеобразования во времени в конкретных геологических условиях реализуется незначительная часть его элементов. Они соответствуют определенным геологическим и геохимическим полям, включающим системы углеобразования, которые различаются по стадии литогенеза, первичным и вторичным фациям угленосной формации [4-6].

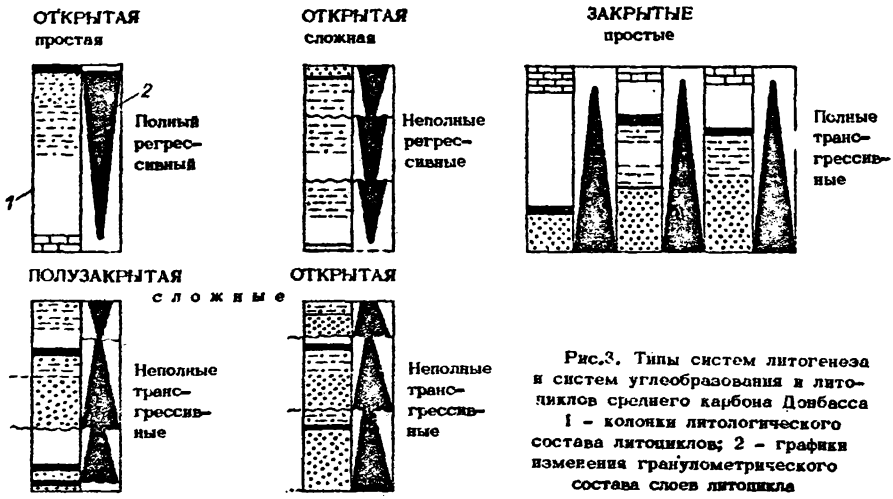


Рис.3. Типы систем литогенеза и систем углеобразования и литоциклов среднего карбона Донбасса
1 – колонки литологического состава литоциклов; 2 – графики изменения гранулометрического состава слоев литоцикла

Таблица 2

Характеристика измерительных шкал метаморфизма марочного состава и качества донецких углей среднего карбона

Тип шкалы	Характеристика углей	Изменчивость классификационных параметров	Эквивалентные преобразования	Допустимые операции	Вторичная обработка данных
Абсолютная	Зольность, сернистость	Равномерная, параметры связаны типом минерализации	Связь с минеральным составом, обогатимость	Объединение проб, усреднение	Расчеты предельных и средних значений
	Углеродный коэффициент	Интенсивность углефикации	Химическая зрелость	Определение геологической изменчивости	
Номинальная	Марка угля	Квантово-равномерная зависимость	Аналоговые, сопоставительские	Определительские замены показателей	Вычисление распределителей
	Группа спекаемости	Ограничение связью			Расчеты шихты
Порядковая	Стадия метаморфизма	Равномерная эквивалентная	Без изменения порядка объединения или разделения	Сравнение с эталонами по шкале катагенеза	Размещение в одном или нескольких рядах
	Класс	Предпочтение ведущему параметру			
Интервальная	Петрографический тип, плотность	Квантово-неравномерная. Переход поликомпонентности в биокомпонентность	Связь микро- и макроструктур, состава мацералов и минералов	Варьирование и корреляция	Замена параметров по уравнениям связи
Отношений	Генетический тип по восстановленности	Неравномерная, предпочтение в определенных интервалах	Классификационные диаграммы, коэффициенты приведения к усредненным типам	Приведение к усредненному типу	Расчет связей параметров системы углеобразования

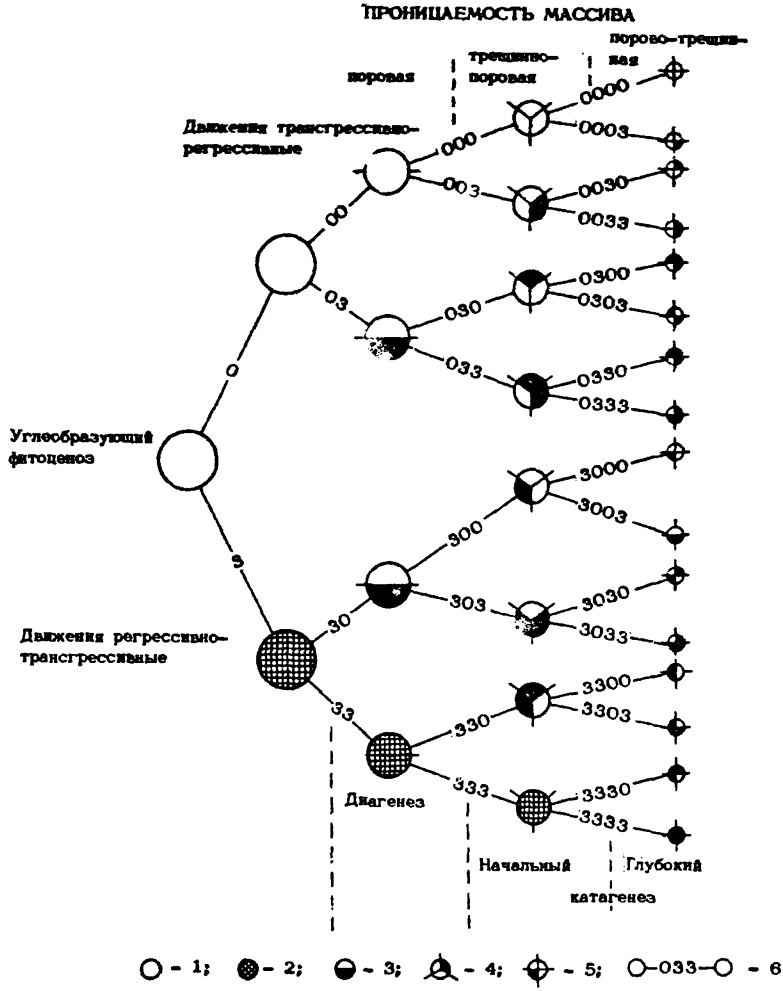


Рис.4. Иерархическая схема соотношения открытых и закрытых систем углеобразования
1–5 – типы систем (1 – открытая, 2 – закрытая, 3 – последовательно открытая или закрытая на стадии диагенеза, 4 и 5 – последовательно открытая или закрытая на стадиях соответственно начального и глубокого катагенеза); 6 – графы системообразующих процессов

В Донецком бассейне наиболее удачным объектом системного исследования углеобразования является Центральный район, который содержит более 30 угольных пластов. В пределах угленосной формации свит C_2^5 и C_2^6 на южном крыле Горловской антиклинали установлено несколько сменяющих друг друга открытых и закрытых систем углеобразования различной активности [2]. В трансгрессивных системах подстилающие угольный пласт слои представлены

континентальными (пойменными и русловыми, подводных выносов рек, прибрежных болот и озер) отложениями, межпластовые – сближенных пластов – также континентальными (русловo-пойменными и озерными) отложениями, а перекрывающие – последовательно сменяющимися лагунно-морскими (лагунными, баровыми и мелководного моря). Для каменской свиты характерен перерыв полного литоцикла локальными и региональными размывами (пл. k_2, k_6, k_7), а в алмазной свите наряду с неполными аналогичными литоциклами (пл. l_3, l_5, l_6) распространены также полные (пл. l_1, l_3^6, l_4).

Угли пластов этих макролитоциклов по стадии метаморфизма относятся к ряду 4Ж–5К–6ОС, а по восстановленности в закрытых и полузакрытых системах углеобразования – преимущественно к генетическим типам *а* и *б*. В активно раскрывающихся полузакрытых и полуоткрытых системах углеобразования под размывами или под перекрывающими континентальными отложениями последующего цикла осадконакопления они переходят в тип *а*.

В регрессивных литоциклах с преимущественно открытыми системами углеобразования подстилающие угольный пласт отложения преимущественно морские, например пласт k_8, или морские и лагунные (пласт k_3). Перекрывающие угольный пласт отложения представлены неполным набором континентальных преимущественно озерно-пойменных порс.. Некоторые литоциклы, например трансгрессивно-регрессивный циклит k_5, характеризуются фациальной изменчивостью и неустойчивостью в разрезе и на площади. Для угольных пластов регрессивного типа литоциклов характерно преобладание открытых и полуоткрытых систем углеобразования с углями невосстановленного или переходного типов *а* и *б* и локально также переходного типа *б*. Образование восстановленных углей *б* изредка возможно в локально закрытых генетических нишах систем углеобразования.

Обоснованность и эффективность геологических моделей углеобразования, рассмотренная при примере донецких углей, резко повышается с применением системных методов их построения: определяются общий объем системы, ее границы, возможное расчленение на типы и изменение в процессе литогенеза. Открытый или закрытый тип системы углеобразования обусловлен характером процессов, а состав системы – их активностью. Таким образом, открывается возможность выделения рядов метаморфизма, соответствующих типам углей по восстановленности. В пределах ряда выделяются стадии. Выбор измерительной шкалы – абсолютной, номинальной, интервальной или отношений – обусловлен как процессами углеобразования, так и возможностями применяемых параметров, выбираемых в соответствии с направлениями практического использования углей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булкин Г.А. Модели для количественного прогнозирования минерального сырья. Л.: Недра, 1991. 288 с.

2. Геологическая карта Украинской ССР. Масштаб 1:25 000. Серия Донбасская. Подсерия

Донецкая. Центральный геологический район: Объяснительная записка / Артемгеология. Киев, 1977.

3. Геолого-углехимическая карта Донбасса: Вып. 8. М.: Углетехиздат, 1954.

4. Кирюков В.В. Первичные и вторичные фации углеобразования и генетические типы углей // XXVII Межд. геол. конгресс: Тезисы. Т. 7, секция 14. М.: Наука, 1984. С. 176–177.

5. Кирюков В.В., Брижанев А.М., Очкур Н.П. Системные исследования в угольной геологии // Ленингр. горный ин-т. СПб, 1991. 95 с.

6. Кирюков В.В. Угленосные формации как геологические системы // Геология угольных месторождений / Уральск. горный ин-т. Екатеринбург, 1991. 113 с.

7. Лопатин Н.В. Образование горючих ископаемых. М.: Недра, 1983. 192 с.

8. Орлов В.П. Геологическое прогнозирование. М.: Недра, 1991. 166 с.

9. Очкур Н.П. О классификационных параметрах углей юго-западной части Донбасса // Геология, поиски и разведка горючих полезн. ископ. / Пермск. политехнический ин-т. Пермь, 1981. С. 10–17.

10. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М.: Высш. шк., 1989. 367 с.

11. Усенбаев К., Сабыралиев К. Теплоемкость ископаемых углей и термодинамика углеобразовательного процесса. Фрунзе: Илим, 1990. 240 с.

12. Шарудо И.И., Москвин В.И., Гоницов А.А. Об условиях катагенетических преобразований органического вещества в пластах // Химия тв. топлива. 1975. № 4. С. 3–10.