

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 552.52 : 553.93

Л.Я. КИЗИЛЬШТЕЙН, А.В. НАСТАВКИН

МИНЕРАЛЫ ГЛИН В АНТРАЦИТАХ

На основе методики литохимических расчетов состава глинистых минералов, адаптированной к углям, предложено решение некоторых научных и практических задач угольной геологии: палеогеографические реконструкции условий торфяной стадии формирования угольных пластов, выяснение геохимической связи глинистых минералов с элементами-примесями, генезис углей разной степени восстановленности, оценка параметров плавкости золы углей, определение реологических свойств водоугольных суспензий, оценка направлений использования золошлаковых отходов тепловых электростанций.

Каолинит и гидрослюды в качестве основных глинистых минералов в углях отмечены во многих работах, например, в Атласах петрографических типов углей основных бассейнов страны (библиографический перечень приведен в [23]). Однако количественные оценки содержания этих минералов в углях единичны. Причина этого в том, что исследование глинистых минералов в углях традиционными рентгенофазовым и дифференциальным термическим методами затруднительно, так как глины находятся здесь в тонкой дисперсной смеси с органическим веществом (ОВ), дающим фоновое рассеивание, снижающее интенсивность рентгенофазовых, экзотермических и термовесовых эффектов самих глинистых минералов [32].

Для обозначения смесей ОВ и глинистых частиц в углепетрографии используется термин «микстинит» [35]. В.А. Успенский [35] считает, что к микстиниту следует относить смесь глин с любыми сорбированными частицами ОВ как сапропелевыми, так и гумусовыми. Применительно к углям микстинит — смесь коллинита (однородного бесструктурного ОВ гумусового происхождения) с глиной. Насколько нам известно, этот мацерал специально не изучался, между тем с ним связана основная масса глинистого материала углей. При изучении антрацитов с использованием ионного травления [23] было обращено внимание на то, что слойки микстинита, практически неотличимые под микроскопом в простом отраженном свете от мацералов группы витринита, становятся совершенно отчетливыми даже при самом слабом травлении вследствие быстрого разрушения органической «пропитки» глинистого материала. В качестве примера на рис. 1 приведена микрофотография по-

верхности аншлифа антрацита после ионного травления. Все темные, почти черные слойки — микстинит. До травления поверхность образца была оптически однородна, если не считать линз инертинита, незначительно отличающихся более высоким отражением. Заметим однако, что микстинит в углях низких и средних стадий метаморфизма достаточно хорошо диагностируется оптическими методами при использовании иммерсионной оптики. Наблюдения показали, что соотношение ОВ — глины изменяется в составе микстинита в широких пределах.

Поскольку отделение глинистого вещества от ОВ является обязательным условием качественного и тем более количественного определений глинистых минералов рентгенофазовым анализом и другими физическими методами, были предприняты попытки удалить ОВ из подобных смесей окислением [32]. По-видимому, наиболее эффективным методом следует считать низкотемпературное окисление ОВ в кислородной плазме. Продукт окисления получил название «низкотемпературная зола». Этот метод однако позволяет работать только с пробами малой массы (несколько граммов) и имеет крайне низкую производительность (длительность одного эксперимента 10—15 ч и более). При подобных условиях трудно рассчитывать на получение массового материала, необходимого для общегеологических заключений.

Л.Я. Кизильштейном с соавторами предложено использовать для оценки состава глинистых (и других) минералов углей методику литохимических расчетов, разработанную О.М. Розеном и Ю.А. Нистратовым [36]. В [16, 19, 24] изложены принципы адаптации этой методики к специфиче-



Рис. 1. Микрофотография поверхности аншлафа донецкого антрацита после ионного травления. Темно-серые слои — микстинит. Ув. 100

Глинистые минералы в углях и углевмещающих аргиллитах разных стадий метаморфизма

Как сказано выше, рассматриваемая нами проблема сводится к дискусионности вопроса о возможном присутствии каолинита в углях антрацитовой стадии метаморфизма. Надо заметить, что характер изменения глинистых минералов, *находящихся в составе угольных пластов*, при метаморфизме практически не изучен, и главным источником информации в этом случае являются данные о составе глин в углевмещающих породах.

Обзор работ, касающихся глинистых минералов в *угленосных отложениях*, показал наличие двух точек зрения. Ряд исследователей [10, 30, 31, 34] пришли к выводу о гидрослюдизации каолинита на высоких стадиях метаморфизма (VII (AK₂) и выше), другие считают, что температурный режим этих стадий не достаточен для подобных трансформаций, и наличие или отсутствие каолинита в породах объясняется фаціальными условиями древнего осадконакопления [2, 3, 6, 26].

Действительно, имеются определенные доказательства зависимости состава глин от фаціальных

условий осадконакопления. А.П. Феофилова и М.Л. Левенштейн [46] установили, что в угленосных отложениях континентальных фацій Донбасса глинистый материал представлен каолинитом и гидрослюдой, в то время как в прибрежно-морских фациях — только гидрослюдой.

П.П. Тимофеев и соавторы [43] на примере нижнекаменноугольной угленосной формации западного склона Урала показали, что в осадках фации прибрежного подвижного мелководья глинистая фракция представлена исключительно гидрослюдой, а в отложениях озерного и озерно-болотного генезисов состоит из каолинита и гидрослюды, причем каолинит преобладает. Обращено внимание, что в породах почвы угольных пластов, имеющих континентальное происхождение, преобладающим глинистым минералом является каолинит, в кровле, где доля морских пород значительна, — гидрослюда.

Б.Д. Труновым [45] изучен минеральный состав углевмещающих пород различной степени метаморфизма Каменско-Гундоровского (пласты i_3, k_1, k_2^H ; марки Ж и К), Красноармейского (марки Д и Г) и Донецко-Макеевского (пласты $h_8, h_{10}, k_5^H, k_7, k_8^H, k_8, l_1^H, l_1, l_1^H, l_3, l_4, l_7, l_8, m_2, m_3, m_4^H$; марки Ж и К) геолого-промышленных районов Донбасса. Всего методами рентгенографии, термографии и электронной микроскопии исследованы 76 образцов. Этот автор по результатам исследований минерального состава глинистых фракций углевмещающих отложений выделил два типа ассоциаций глинистых минералов: гидрослюдисто-каолинитовую (Красноармейский и Донецко-Макеевский районы) и гидрослюдисто-каолинито-хлоритовую (Каменско-Гундоровский район), обязанные, как он считает, своими различиями источникам сноса. В пределах каждой провинции ассоциация глинистых минералов остается более или менее постоянной при различных постседиментационных изменениях углевмещающих пород. Это, по мнению Б.Д. Трунова [45], указывает на решающую роль в формировании комплекса глинистых минералов источника размыва. Автор [45] связывает уменьшение содержания каолинита в пределах одной минералогической провинции с более глубоководными фациями осадконакопления.

М.М. Лось [33] рентгенофазовым анализом изучил минеральный состав 21 пробы разнофаціальных глинистых пород (аргиллитов) из шахт Каменско-Гундоровского района Донбасса (метаморфизм соответствует маркам углей Г-К). Гидрослюды и каолинит выявлены во всех пробах, причем первые преобладают. Монтмориллонит зафиксирован в глинистых породах морских фацій и в меньшей степени — континентальных. Хлорит часто и четко фиксируется в пробах глин морского генезиса и почти не выявлен на рентгенограммах глинистых пород континентальных фацій. Результаты рентгенофазовых исследований подтверждены данными дифференциально-термического анализа.

Ю.Н. Брагин [2] изучил углевмещающие глинистые породы различных фацій карбона Центрального, Донецко-Макеевского, Красноармейского и Южно-Донбасского геолого-промышленных районов Донбасса. Содержание глинистых минералов

условий осадконакопления. А.П. Феофилова и М.Л. Левенштейн [46] установили, что в угленосных отложениях континентальных фацій Донбасса глинистый материал представлен каолинитом и гидрослюдой, в то время как в прибрежно-морских фациях — только гидрослюдой.

П.П. Тимофеев и соавторы [43] на примере нижнекаменноугольной угленосной формации западного склона Урала показали, что в осадках фации прибрежного подвижного мелководья глинистая фракция представлена исключительно гидрослюдой, а в отложениях озерного и озерно-болотного генезисов состоит из каолинита и гидрослюды, причем каолинит преобладает. Обращено внимание, что в породах почвы угольных пластов, имеющих континентальное происхождение, преобладающим глинистым минералом является каолинит, в кровле, где доля морских пород значительна, — гидрослюда.

Б.Д. Труновым [45] изучен минеральный состав углевмещающих пород различной степени метаморфизма Каменско-Гундоровского (пласты i_3, k_1, k_2^H ; марки Ж и К), Красноармейского (марки Д и Г) и Донецко-Макеевского (пласты $h_8, h_{10}, k_5^H, k_7, k_8^H, k_8, l_1^H, l_1, l_1^H, l_3, l_4, l_7, l_8, m_2, m_3, m_4^H$; марки Ж и К) геолого-промышленных районов Донбасса. Всего методами рентгенографии, термографии и электронной микроскопии исследованы 76 образцов. Этот автор по результатам исследований минерального состава глинистых фракций углевмещающих отложений выделил два типа ассоциаций глинистых минералов: гидрослюдисто-каолинитовую (Красноармейский и Донецко-Макеевский районы) и гидрослюдисто-каолинито-хлоритовую (Каменско-Гундоровский район), обязанные, как он считает, своими различиями источникам сноса. В пределах каждой провинции ассоциация глинистых минералов остается более или менее постоянной при различных постседиментационных изменениях углевмещающих пород. Это, по мнению Б.Д. Трунова [45], указывает на решающую роль в формировании комплекса глинистых минералов источника размыва. Автор [45] связывает уменьшение содержания каолинита в пределах одной минералогической провинции с более глубоководными фациями осадконакопления.

М.М. Лось [33] рентгенофазовым анализом изучил минеральный состав 21 пробы разнофаціальных глинистых пород (аргиллитов) из шахт Каменско-Гундоровского района Донбасса (метаморфизм соответствует маркам углей Г-К). Гидрослюды и каолинит выявлены во всех пробах, причем первые преобладают. Монтмориллонит зафиксирован в глинистых породах морских фацій и в меньшей степени — континентальных. Хлорит часто и четко фиксируется в пробах глин морского генезиса и почти не выявлен на рентгенограммах глинистых пород континентальных фацій. Результаты рентгенофазовых исследований подтверждены данными дифференциально-термического анализа.

Ю.Н. Брагин [2] изучил углевмещающие глинистые породы различных фацій карбона Центрального, Донецко-Макеевского, Красноармейского и Южно-Донбасского геолого-промышленных районов Донбасса. Содержание глинистых минералов

определялось рентгенофазовым анализом. Присутствие каолинита установлено во всех изученных фациальных типах отложений, где он ассоциирует с гидрослюдами и хлоритами. Содержание каолинита уменьшается от ниже- к верхнекаменноугольным и от континентальных к морским породам. Максимальные концентрации этого минерала наблюдаются в нижнекаменноугольных глинистых породах континентальных фаций. В составе углистых аргиллитов, представляющих собой глинистые аналоги угольных пластов, он часто доминирует (75—85%). Замечено также, что каолинитовые породы генетически связаны с маловосстановленными и переходными углями. Причину этой связи Ю.Н. Брагин видит в том, что формирование маловосстановленных углей происходило в условиях пассивного тектонического режима региона, когда породы зоны размыва испытали глубокое химическое выветривание.

Позже Ю.Н. Брагин [3], исследуя состав глинистых минералов в каменноугольных породах Красноармейского, Донецко-Макеевского и Амвросиевского районов Донбасса, выделил основные факторы, влияющие на состав и распространение глинистых минералов: положение источников сноса по отношению к областям аккумуляции осадков, физико-географические условия осадконакопления, степень постседиментационного изменения пород. Гидрослюды — главный компонент глинистой фракции большинства каменноугольных пород. Каолинит также обнаружен Ю.Н. Брагиным почти во всех пробах. В восточных районах минимум содержания каолинита приурочен к отложениям мелкого моря и речных выносов; распределение каолинита по фациям почти полностью обратно таковому гидрослюды. По уменьшению частоты встречаемости гидрослюды фациальные обстановки расположены [3] в следующем порядке: открытое море → мелкое море → озеро → лагуна → подводные выносы рек. Общая закономерность распределения глинистых минералов в каменноугольных отложениях юго-западной части Донбасса выражена так: каолинит и хлорит более характерны для прибрежных фаций, гидрослюды, монтмориллонит и смешанослойные минералы — для морских фаций. Как считает Ю.Н. Брагин [3], процессы диагенеза для минерального состава большинства каменноугольных пород Донбасса значили весьма мало. Считая температуру катагенеза каменноугольных отложений, не превышающую 350°C, давление — 150—170 МПа, этот автор пришел к выводу, что процессы катагенеза практически не оказали влияния на распределение каолинита в глинистых породах Донбасса. Некоторое уменьшение содержания каолинита в породах восточных районов Донбасса, вмещающих высокометаморфизованные угли, объяснено изменением областей сноса терригенного материала [3]. Таким образом, влияние катагенеза на состав глинистых пород карбона Донбасса Ю.Н. Брагиным исключается.

Имеются прямые экспериментальные данные, указывающие на присутствие каолинита в аргиллитах из угленосных отложений антрацитовых районов. Б.В. Смирнов, Б.Д. Трунов и Л.В. Перельский [41] рентгенофазовым методом установили присутствие этого минерала в аргиллитах почвы и

кровли антрацитовых угольных пластов k_2 , k_2^1 , k_5^{1B} , l_6^0 , и l_6 — l_6^A , причем его содержание в почве местами достигает 75%, в кровле — от 2 до 66%. Близкие результаты в отношении каолинита получены И.Д. Седлецким и В.И. Джумайло [39].

Г.Б. Скрипченко и соавторы [40] исследовали методом количественного рентгенофазового анализа минеральный состав отходов добычи и обогащения углей в ряде бассейнов РФ. В основном этот материал характеризует вмещающие породы и породные прослои в угольных пластах. В породах, связанных с донецкими антрацитами, содержание каолинита составляет 6—31%. Близкие результаты (каолинит 16%) приведены этими авторами в [25] (табл. 1). В обеих работах каолинит и гидрослюда преобладали в глинистом комплексе (от 38 до 89%). Монтмориллонит и хлорит отсутствовали или содержание хлорита не превышало 6%.

Таблица 1

Глинистые минералы в углеотходах (мас. %)

Обогатительная фабрика, марка угля	Каолинит	Гидрослюда	Монтмориллонит	Хлорит
Соколовская, А	16	44	—	6
Комендантская, А	15	37	9	—

Примечание. Прочерк — минерал отсутствует.

Приведем данные, свидетельствующие о присутствии каолинита непосредственно в углях, в том числе в высокометаморфизованных. А. Бейли [51] исследовал минеральный состав глинистого угольного пласта Нижний Киттанинг, формация Аллегейни (C_2), Аппалачского угольного бассейна (США). По результатам рентгенофазового анализа 34 проб углей содержание каолинита в угле колебалось от 0,11 до 2,40% (среднее 0,35%), иллита (гидрослюды) — от 0,54 до 17,70% (среднее 4,96%). Установлено более высокое содержание каолинита в пластах, связанных с пресноводными, аллювиально-дельтовыми условиями. В отношении иллита определенной связи с фациальными условиями не установлено. В углях США на каолинит и гидрослюды приходится 60—70% всей массы низкотемпературной золы [50].

Л.Я. Кизильштейн и соавторы [24] получили «низкотемпературную золу» углей Донецкого, Кузнецкого, Экибастузского, Челябинского, Днепровского, Ангренского и Ткварчельского бассейнов. Каолинит не обнаружен в двух первых бассейнах, в остальных его содержание колебалось от 14,1 до 26,9% (в золе). Не исключено, что вследствие низких содержаний минерал оказался за пределами чувствительности использованной методики рентгенофазового анализа (5%). Это предположение укрепляется тем, что в другом эксперименте в материале тяжелой фракции антрацита, обогащенной глинистым веществом, каолинит достоверно установлен [19]. Добавим, что отсутствие каолинита в донецких и кузнецких углях по результатам рентгенофазовых исследований не могло быть интерпретировано однозначно, поскольку в тех же пробах он был идентифицирован вполне определенно методами оптической и электронной микроскопии.

Приведенные данные показывают присутствие каолинита в глинистых породах (аргиллитах) вос-

точных районов Донецкого бассейна, т.е. районах, где степень метаморфизма пород угленосной толщи наиболее высокая. Таким образом, тотальная гидрослюдизация каолинита, как это утверждается в некоторых работах [10, 30, 31, 34], по-видимому, не происходила. Несмотря на ограниченность прямых экспериментальных доказательств, этот вывод с еще большей основательностью может быть распространен на глинистый комплекс в составе самих углей. Как показано выше, здесь глины находятся в дисперсной смеси с ОВ, которое, и это принципиально важно, «защищает» глинистые минералы от фазовых и других превращений при метаморфизме.

Сошлемся в этой связи на авторитетное мнение Т.Т. Клубовой [28], которая считает, что геологические среды, обогащенные органическим веществом, определяют условия, предотвращающие гидрослюдизацию каолинита. По мнению этого исследователя, сорбированное ОВ стабилизирует состав глинистых минералов в процессах катагенеза даже при резком изменении физико-химических условий. Глинистые минералы, сорбирующие ОВ, не подвергаются постседиментационным изменениям как бы ни менялись физико-химические условия существования этих пород [27]. Стабильность каолинита в процессах катагенеза донецких пород при температуре, не превышающей 350 °С, отмечают Э.А. Гойло и соавторы [6]. У.А. Дир, Р.А. Хауи, Дж. Зусман [7] указывают, что пределом устойчивости каолинита является температура около 405 °С и интервал давлений от 17 до 170 МПа. В фундаментальной монографии [4] показано, что преобразование каолинита в экспериментах с широким варьированием температур начинается при 600 °С, что явно превышает температуру антрацитовой стадии метаморфизма, которая, по мнению большинства геологов-угольщиков, не превышала 300—350 °С. Таким образом, даже без учета упомянутой выше термохимической роли ОВ термобарические условия в зонах формирования антрацитовых углей не определяли неизбежность полной гидрослюдизации каолинита.

Использование метода литохимических расчетов при решении научных задач

Авторы рассмотрели перспективы, которые открываются при использовании методики литохимических расчетов для решения некоторых задач угольной геологии.

Палеогеографические реконструкции. Ассоциация глинистых минералов в современных торфяниках формируется в результате поступления материала из зон размыва в процессе торфогенеза. Можно предположить, что из зон размыва в торфяные залежи в составе взвесей приносятся каолинит, гидрослюда, монтмориллонит и хлорит в разных пропорциях, в зависимости от состава пород области минерального питания. Установлено [29, 44], что направленность и степень преобразования глинистых минералов в торфе контролируются начальным составом глинистого комплекса; количеством, реакционной способностью и степенью разложения растительного материала; физико-хими-

ческими условиями среды, т.е. в целом фациальными условиями торфонакопления.

Гидрослюды в углях в общем тем больше, чем в большей степени параллическими были условия торфонакопления [50]. Каолинит более свойственен «пресноводным» лимническим углям. Отмечается увеличение относительного содержания каолинита в глинистом комплексе с уменьшением зольности угля [19]. Это можно интерпретировать как следствие снижения рН (более кислый торф), характерное для верховых торфов [12]. Таким образом, состав глин может оказаться индикатором геоморфологической структуры древнего торфяника.

Л.Я. Кизильштейн и соавторы [19] изучили состав глинистых минералов (расчетный) в стратиграфическом разрезе и на площади распространения угольных пластов в Шахтинско-Несветаевском геолого-промышленном районе Восточного Донбасса. На примере угольного пласта i_3^H показано, что в разрезе от почвы к кровле содержание каолинита в глинистом комплексе снижается при параллельном увеличении содержания гидрослюды (табл. 2). Аналогичным образом в разрезе растет зольность угля и содержание серы. Последние два

Таблица 2

Минеральные компоненты углей в разрезе пласта

Объект опробования	Минеральные компоненты (% к массе угля)					Зольность, %
	каолинит	гидрослюда	пирит	кальцит	кварц	
Контакт с кровлей	6,0	14,7	6,2	1,1	4,5	31,8
Верхняя пачка	6,8	6,3	4,1	1,8	4,1	24,9
Породный прослой	7,2	31,3	2,2	0,5	1,5	41,2
Нижняя пачка	7,7	1,1	3,3	1,4	0,8	14,6
Контакт с почвой	10,8	5,7	2,0	2,9	6,5	22,9
Среднее содержание в пласте (без учета породного прослоя)	7,8	6,9	3,9	1,8	3,8	23,6

показателя, как было показано в [11, 12], свидетельствуют об эволюции условий древнего торфонакопления от верхового к низинному типу, сопровождающейся изменением значений рН среды от более кислых к нейтральным. Следствием этого, как можно предположить, было увеличение содержания гидрослюды в стратиграфическом разрезе. Другой, неальтернативной версией является рост проточности торфяника, характерный для смены верхового торфонакопления низинным. В этом случае следует ожидать увеличения содержания гидрослюды в глинистом комплексе вследствие активизации терригенного процесса в зоне минерального питания торфяника. Наконец, к тем же последствиям, как указывают П.П. Тимофеев с соавторами [43], может привести все большее влияние морских условий с приближением к кровле пласта, сложенной морскими отложениями. По литохимическим оценкам состава глинистого комплекса в зоне контакта пласта с кровлей (20—30 мм) содержание гидрослюды оказалось максимальным (табл. 2). Заметим, что максимальное расчетное содержание каолинита отмечено в зоне контакта пласта с породами почвы, что соответствует существу-

ющим в торфоведении представлениям о наиболее низких рН на начальных этапах торфонакопления.

Таким образом, изменение соотношения каолинит—гидролюда может оказаться новым критерием стратиграфической и пространственной эволюции торфонакопления, т.е. источником важной палеогеографической информации.

Возможности использования данных о составе глин при реконструкции палеогеографической ситуации на площади распространения угольных пластов проиллюстрированы в [19]. На примере нескольких угольных пластов показано, что в зонах, которые по независимым палеогеографическим критериям (морфология, зольность, содержание серы, петрография) можно было считать низинными, в составе глинистого комплекса существенно возростала доля гидролюда. Иными словами, и в этом случае естественна интерпретация — гидролюдизация глинистого комплекса объясняется ростом рН и степени проточности, характерных для низинных участков торфяного массива.

Новые данные в связи с пространственной изменчивостью состава глин получены авторами при изучении пласта m_8^1 на площади геологоразведочного участка Садкинский Восточный в Сулино-Садкинском геолого-промышленном районе Восточного Донбасса. Общая палеогеографическая ситуация показана на рис. 2. Доминирующим элементом палеогеографической обстановки является русло аллювиальной протоки, ограничивающее область древнего торфонакопления с севера. В направлении на юг торфяной массив переходит на все более высокие элементы рельефа, т.е. низинное торфонакопление сменяется верховым. Расчетный глинистый комплекс установлен по данным анализа химического состава золы углей по 27 скважинам. Результаты в виде карты-схемы распределения гидролюды в пласте m_8^1 приведены на рис. 2. Достаточно отчетлива главная закономер-

ность — в направлении низинная—верховая зоны древнего торфяника содержание гидролюды в угле уменьшается. Таким образом, из приведенных данных видно, что литохимические расчеты могут оказаться источником палеогеографической информации. Весьма существенно, что для получения последней могут быть использованы огромные массивы данных о химическом составе золы углей, накопленные за многие десятилетия и почти не используемые в научных целях.

Элементы-примеси. В обширной литературе, посвященной элементам-примесям (ЭП) в углях, одной из центральных является проблема их распределения между компонентами угольного вещества — проблема носителей. Из мировых аналитических обзоров, выполненных Я.Э. Юдовичем с соавторами [49], становится ясным, что такими носителями, т.е. компонентами угольного вещества, с которыми связана большая часть массы ЭП, могут быть в разных условиях органические мацералы (преимущественно группы витринита) и минералы (глинистые и сульфиды железа). Гидролюды, как можно предположить, обладают большей активностью к взаимодействию с ЭП [5, 22]. Действительно, получены данные, свидетельствующие о том, что концентрация литофильных ЭП в углях увеличивается вместе с ростом расчетного содержания гидролюда [22]. Авторами предпринято обстоятельное исследование связи ЭП — гидролюда на примере типичного литофильного элемента — тория (Th). Обобщенная информация об экогеохимии Th в углях приведена в [15]. Определение Th проводилось непосредственно в угле (без озоления) методом нейтронно-активационного анализа в Институте ядерной физики АН Узбекистана. Химический состав золы проб для последующих литохимических расчетов (всего 189 проб) антрацитовых пластов i_3^H и i_3^B на шахтах Западная Капитальная, имени Ленина, бывш. Краснорес-

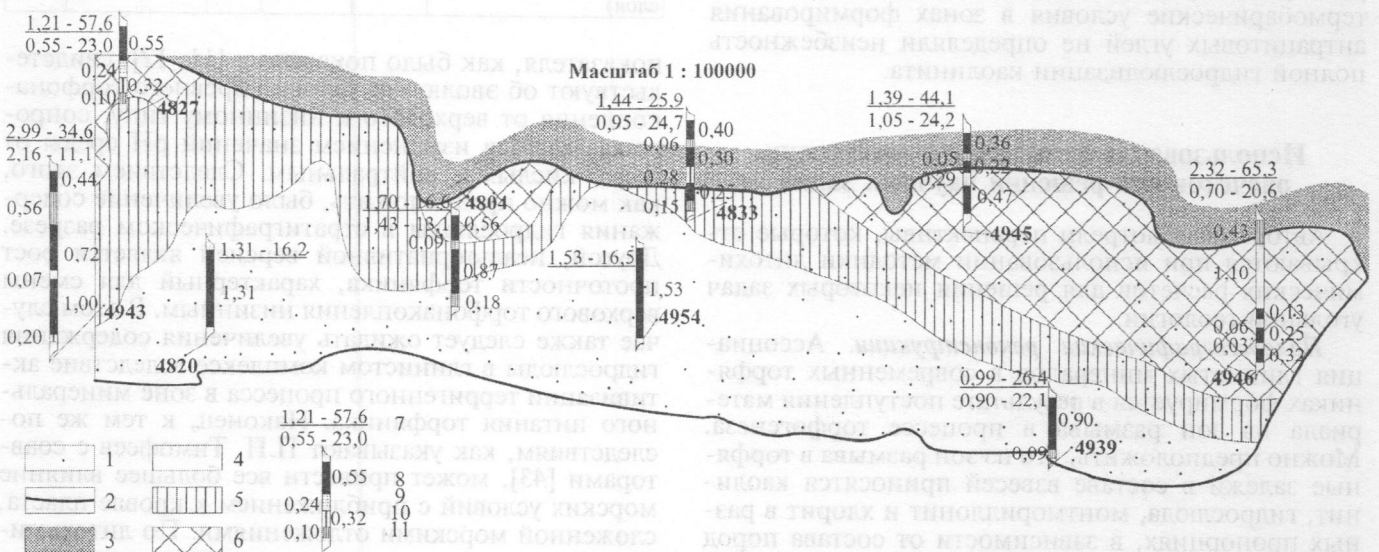


Рис. 2. Палеогеографическая обстановка и распределение гидролюды в угле пласта m_8^1 на участке Садкинском Восточном Сулино-Садкинского геолого-промышленного района Восточного Донбасса: 1 — разведочные скважины; 2 — линия выхода пласта на поверхность карбона; 3 — палеорусло реки; 4, 5, 6 — зоны древнего торфонакопления: 4 — верховая, 5 — переходная, 6 — низинная; содержание гидролюды в угле, %: 4 — <10, 5 — 10—20, 6 — >20; 7 — над чертой: первая цифра — суммарная мощность угольных прослоев (м), вторая — зольность пласта (%), под чертой: первая цифра — суммарная мощность угольных прослоев (м), вторая — их зольность (%); 8 — уголь; 9 — алеврит; 10 — аргиллит; 11 — углистый аргиллит

таевская Восточного Донбасса получен по результатам дифференциального опробования. Связь Th — гидрослюда характеризуется коэффициентом корреляции 0,40. Связь Th с каолинитом — отрицательная.

Приведенные данные позволяют расширить представления о геохимии ЭП в углях, в частности, объяснить обычно широкое варьирование содержания ЭП в углях с близким составом органических и минеральных компонентов (близкой зольностью). Возможна также более глубокая интерпретация связей ЭП с палеогеографической обстановкой древнего торфонакопления. Нельзя исключить, что подобная информация окажется полезной в том случае, если будет поставлена задача разработки технологических схем извлечения ЭП из углей или продуктов их переработки.

Восстановленность углей. Различия свойств органического гелифицированного вещества равнометаморфизованных углей впервые отмечены исследователями Донбасса и на протяжении многих лет являлись предметом самых различных интерпретаций [38]. Показано, что восстановленность объясняет важные особенности технологических свойств углей. Используя методику литохимических расчетов, авторы [21] обратили внимание на различия минерального состава глин разновосстановленных углей: в высоковосстановленных углях отношение гидрослюда—каолинит оказалось значительно выше. Это может свидетельствовать о том, что восстановленные угли образовались в условиях более высоких рН древних торфяников (подтверждая, таким образом, точку зрения Л.И. Сарбеевой [38]) или большой скорости формирования торфогенного слоя [8, 42]. То и другое более всего соответствует условиям низинного типа торфонакопления.

Использование метода литохимических расчетов при решении прикладных задач

Некоторые прикладные задачи угольной геологии могут получить новое освещение в связи с привлечением методики литохимических расчетов.

Температура плавления золы. Одним из важных параметров, определяющих выбор технологии сжигания углей на крупных угольных ТЭС, является температура плавления золы. Низкая температура плавления приводит к тому, что минеральное вещество углей, переходящее при сжигании в расплав, остается в этом состоянии и за пределами топочной камеры, отлагаясь в виде твердой массы (шлака) на внутренней поверхности конструкций системы отбора остаточного тепла и золоудаления. Кроме того, температура плавления золы учитывается при выборе способа шлакоудаления из котла (жидкое или твердое шлакоудаление). Известно, что существенным фактором, снижающим температуру плавления золы, является высокое содержание СаО. Именно это определяет, например, технологические трудности сжигания углей Канско-Ачинского бассейна. Сопоставления температур плавления золы с содержанием упомянутых глинистых минералов для углей Донецкого, Подмосковного, Экибастузского бассейнов обнаружили достаточно отчетливую корреляцию [17].

Жидкое шлакоудаление характеризуется показателем $t_{н.ж}$ — температурой нормального шлакоудаления, которая должна обеспечивать необходимую для принятой технологии сжигания вязкость шлака. По опыту Горного бюро США [9], вязкость полностью расплавленного шлака зависит от отношения оксидов основного и кислотного характеров $P = (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O) / (SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3)$.

Для характеристики плавкости золы в нашей стране пользуются эмпирическим отношением [1]: $(SiO_2 + Al_2O_3) / (FeO + Fe_2O_3 + CaO + MgO)$. Чем выше величина этого отношения, тем более тугоплавка зола. Золой углей с температурой плавления ниже 1200 °С относятся к легкоплавким, 1200—1350° — среднеплавким, 1350—1500° — тугоплавким, выше 1500° — «неплавким». Можно ожидать, что оценка параметров плавкости на основании данных о минеральном составе углей позволит ввести в проектные оценки более надежную и генетически обоснованную информацию.

Состав водоугольных суспензий. Авторами [20] предложено использовать литохимический метод для оценки состава минеральных компонентов углей при определении реологических свойств водоугольных суспензий.

Известно, что транспортировка угля в виде высококонцентрированных водоугольных суспензий (ВВУС) позволяет получить большой экономический и экологический эффекты. Условием длительной устойчивости ВВУС являются их оптимальные реологические характеристики, при которых достигается максимальная концентрация в составе дисперсной фазы угольных частиц при необходимой для эффективной гидротранспортировки структурной стабильности дисперсной системы.

В.Г. Самойлик с соавторами [37] исследовано влияние различных минеральных примесей на реологические свойства ВВУС. Показано, что глинистые минералы в составе твердой фазы стабилизируют водоугольную суспензию, причем наибольший эффект стабилизации создается монтмориллонитом и гидрослюдой (последней в существенно меньшей степени). Каолинит снижает прочность структуры ВВУС. Установлено также, что превышение некоторого оптимального уровня концентрации глинистых минералов приводит к снижению текучести суспензий и ухудшению условия их транспортировки. Таким образом, для определения оптималь-

Таблица 3

Состав глинистых минералов в углях некоторых бассейнов

Бассейн	Число анализов	Зольность, %	Минералы глин в углях, %			
			Гидро-слюда	хлорит	монтморил-лонит	каолинит
Подмосковный	30	39,1	2,3	0,4	0,1	23,8
Кизеловский	9	37,8	6,4	1,6	0,7	12,4
Донецкий	24	28,5	7,1	1,8	0,6	3,7
Экибастузский	3	45,3	2,3	1,8	0,7	24,3
Кузнецкий	49	18,6	3,5	0,8	0,5	1,6
Канско-Ачинский	12	11,9	0,6	1,7	0,1	0,6

ных условий транспортировки ВВУС необходима информация о наличии и концентрации в их составе глинистых минералов.

Методом литохимических расчетов оценен состав глинистых минералов, находящихся в составе углей некоторых угольных бассейнов (табл. 3). Данные о химическом составе зол заимствованы из [48]. Полученные результаты показывают широкое варьирование состава глинистых минералов в угольных бассейнах. При шихтовании углей разного качества, транспортируемых в форме ВВУС, могут быть применены методы оптимизации состава смесей, предложенные в [18].

Оценка направлений использования золошлаковых отходов ТЭС. Комплексное использование отходов сжигания углей, складированных в золошлакоотвалах угольных ТЭС, представляет собой актуальную технологическую и экологическую задачу. В зависимости от состава минеральной части углей и условий сжигания свойства золошлаковых отходов существенно меняются. Характер термохимических преобразований минеральных компонентов при высокотемпературном нагреве в топочной камере ТЭС исследован М.Я. Шпиртом [47]. Показано, что конечными продуктами распада гидрослюды являются муллит и кристобалит, каолинита — муллит, силлиманит и кварц. Добавим к этому, что У.Ф. Брэдли и Р.Е. Грим [4], ссылаясь на экспериментальные данные, указывают, что при нагревании иллита (гидрослюды) выше 850 °С возможно образование новой фазы — шпинели. Однако, при температурах котлоагрегатов угольных ТЭС, достигающих при пылеугольном сжигании

1500—1800 °С, дифракционные эффекты шпинели, по данным этих авторов, исчезают и появляются отражения муллита. Это, как можно видеть, объясняет приведенные выше данные М.Я. Шпирта, не обнаружившего шпинель в золошлаковых отходах ТЭС. Кроме того, исследованиями авторов золошлаковых отходов ТЭС Восточного Донбасса также не обнаружено этого минерала, в то время как муллит был достоверно установлен в значительных количествах.

Л.Я. Кизильштейном с соавторами [13, 14] изучены связи минерального состава углей с формированием некоторых особых железосодержащих компонентов золы: магнетитовых микрошариков и ферросилиция. Как ясно из изложенного, состав минеральной части углей может быть определен литохимическими расчетами на стадии геологоразведочных работ, то есть появляется перспектива прогноза возможного состава золошлаковых отходов угольных ТЭС и на этой основе — направлений комплексного использования отходов в соответствии с методикой, изложенной в [47].

Авторы считают необходимым привлечь внимание геологов-угольщиков к новым возможностям, открывающимся при доступе к информации о составе глинистых минералов в углях, и не сомневаются в том, что метод литохимических расчетов применительно к углям требует апробации на более обширном экспериментальном материале угольных бассейнов РФ. Однако перспективы методики представляются весьма привлекательными при решении научных и прикладных проблем угольной геологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроскин А.А. Химия и технология угля. М.: Недра, 1969.
2. Брагин Ю.Н. О количественном распределении каолинита в угленосных отложениях донецкого карбона в связи с проблемой их бокситоносности // Докл. АН СССР. 1970. Т. 193. № 2.
3. Брагин Ю.Н. Глинистые минералы каменноугольных отложений юго-западной части Донбасса // Литология и полез. ископаемые. 1973. № 6.
4. Брэдли У.Ф., Грим Р.Е. Слюдистые минералы глин // Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / Под ред. Г. Брауна. М.: Мир, 1965.
5. Гарновский А.Д., Кизильштейн Л.Я. Особенности связывания металлов в ископаемом органическом веществе земной коры и принцип ЖМКО // Изв. Сев.-Кавк. науч. центра высш. шк. Естеств. науки. 1985. № 1.
6. Гойло Э.А., Котов Н.В., Франк-Каменецкий В.А. Экспериментальное исследование влияния стрессового и гидростатического давлений при различных температурах на кристаллическую структуру каолинита // Физические методы исследования минералов осадочных пород. М.: Наука, 1966.
7. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 3. М.: Мир, 1966.
8. Жемчужников Ю.А., Яблоков В.С. и др. Строение и условия накопления основных угленосных свит и угольных пластов среднего карбона Донецкого бассейна // Тр. Геологич. ин-та АН СССР. 1959. В. 15.
9. Залкинд И.Я., Вдовченко В.С., Дик Э.П. Зола и шлаки в котельных топках. М.: Энергоатомиздат, 1988.
10. Карпова Г.В. Глинистые минералы и их эволюция в терригенных отложениях. М.: Недра, 1972.
11. Кизильштейн Л.Я. Геохимические индикаторы условий древнего торфонакопления // ХТТ. 1973. № 4.
12. Кизильштейн Л.Я., Гофман Н.Г. Реконструкция условий рН и окислительно-восстановительного потенциала древних торфяников // ХТТ. 1970. № 4.
13. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицглюз А.Л., Парада С.Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1995.
14. Кизильштейн Л.Я., Калашников А.С. Магнетитовые микрошарики из золы-уноса пылеугольного сжигания углей на ТЭС // ХТТ. 1991. № 6.
15. Кизильштейн Л.Я., Левченко С.В. Геохимия тория в углях: экологический аспект // Геохимия. 1995. № 6.
16. Кизильштейн Л.Я., Левченко С.В., Наставкин А.В. Литохимический метод оценки состава минеральных примесей в углях // Изв. вузов. Геология и разведка. 2000. № 4.
17. Кизильштейн Л.Я., Левченко С.В., Наставкин А.В. Литохимический метод оценки минерального состава углей: научное и практическое использование // Ресурсный потенциал твердых горючих ископаемых на рубеже XXI века. (Тр. X всерос. угольного совещания). Ростов-н/Д: ВНИГРИуголь, 2001.
18. Кизильштейн Л.Я., Мостовой П.П., Жак С.В. Оценка обогатимости ископаемых углей на стадии геологоразведочных работ. М.: Недра, 1987.
19. Кизильштейн Л.Я., Мостовой П.П., Перетярко А.Г. Литохимический метод оценки состава глинистых минералов в углях // Изв. вузов. Геология и разведка. 1987. № 9.
20. Кизильштейн Л.Я., Наставкин А.В. Использование литохимического метода для оценки состава минеральных компонентов углей при определении реологических свойств водоугольных суспензий // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Европейской территории России и Урала. Мат. региональной конф. / Под ред. Е.С.Контаря. Кн. II. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2000.

21. Кизильштейн Л.Я., Наставкин А.В. Особенности состава минеральных компонентов углей разной степени восстановленности (разных генетических типов) // Геология угольных месторождений: Межвуз. науч. темат. сб. / Редкол.: В.П. Алексеев (отв. ред.) и др. В. 10. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2000.
22. Кизильштейн Л.Я., Перетягко А.Г., Гофен Г.И. Новые данные о распределении элементов-примесей между компонентами угольного вещества // Литология и полез. ископаемые. 1989. № 6.
23. Кизильштейн Л.Я., Шпицглюз А.Л. Атлас микрокомпонентов и петрогенетических типов антрацитов. Ростов-н/Д: Изд-во Северо-Кавказского научного центра высш. шк., 1998.
24. Кизильштейн Л.Я., Шпицглюз А.Л., Перетягко А.Г. Состав минеральных компонентов углей по результатам низкотемпературного окисления органического вещества в высокочастотной кислородной плазме и литохимическим расчетам // Литология и полез. ископаемые. 1995. № 1.
25. Клейман Р.Я., Скрипченко Г.Б., Шпирт М.Я., Иткин Ю.В. Количественный рентгенофазовый анализ углеотходов при их использовании в производстве кирпичей // ХТТ. 1991. № 6.
26. Клубова Т.Т. Роль глинистых минералов в преобразовании органического вещества и формировании порового пространства коллекторов. М.: Наука, 1965.
27. Клубова Т.Т. Минералогическое и экспериментальное изучение устойчивости глинистых минералов в различных типах осадочных пород // Физические и химические процессы и фации. М.: Наука, 1968.
28. Клубова Т.Т. Механизм взаимодействия глинистых минералов и органических веществ в осадочных породах // Органическое вещество современных и ископаемых осадков. М.: Наука, 1971.
29. Ковалев В.А. Болотные минералого-геохимические системы. Минск: Наука и техника, 1985.
30. Копорулин В.И. Процессы литогенеза пепловых осадков и пород в мезозойско-кайнозойских угленосных формациях Северо-Востока СССР // Осадочная оболочка Земли в пространстве и времени: Седименто- и литогенез: Докл. сов. геологов на XXVIII сес. Междунар. геол. конгр. (Вашингтон, июль 1989). М.: Наука, 1989.
31. Копорулин В.И. О перераспределении компонентов в ходе литогенеза пород угленосных формаций // Геология угольных месторождений: Межвуз. науч. темат. сб. В. 7. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1997.
32. Коробецкий И.А., Шпирт М.Я. Генезис и свойства минеральных компонентов углей. Новосибирск: Наука, 1988.
33. Лось М.М. Дифрактометрические исследования глинистых пород различных фаций в Донецком бассейне // Минералого-петрографические и геохимические исследования на Северном Кавказе и в Донбассе. Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1972.
34. Методы корреляции угленосных толщ и синонимии угольных пластов. Л.: Наука, 1968.
35. Парпарова Г.М., Жукова А.В. Углетрографические методы в изучении осадочных пород и полезных ископаемых. Л.: Недра, 1990.
36. Розен О.М., Нистратов Ю.А. Определение минерального состава осадочных пород по химическим анализам // Сов. геология. 1984. № 3.
37. Самойлик В.Г., Елишевич А.Т., Макаров А.С. Влияние состава минеральных примесей на реологические свойства водоугольных суспензий // ХТТ. 1990. № 5.
38. Сарбеева Л.И. Фациальные и геохимические условия образования различно восстановленных углей // Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород. М.: Недра, 1975.
39. Седлецкий И.Д., Джумаило В.И. Коллоидно-дисперсные минералы глинистых отложений карбона Донбасса // Докл. АН СССР. 1953. Т. 89. № 1.
40. Скрипченко Г.Б., Клейман Р.Я., Шпирт М.Я. Вещественный состав минеральных компонентов углей России и углеотходов // Рос. хим. журн. 1994. Т. XXXVIII. № 5.
41. Смирнов Б.В., Трунов Б.Д., Передельский Л.В. К вопросу о минералогическом составе глинистых углевмещающих пород Восточного Донбасса // Исследования по минералогии и петрографии на территории Северного Кавказа и Донбасса. Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1971.
42. Тимофеев П.П. К вопросу о связи генетических типов углей с обстановками осадконакопления // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1952. № 5.
43. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И., Еремеев В.В. и др. Особенности преобразования вещества осадков различных фаций в процессе формирования пород // Состояние и задачи советской литологии. Т. 3. М.: Наука, 1970.
44. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И. Геохимия органического вещества голоценовых отложений в областях приморского торфонакопления (Колхида, Южная Прибалтика, Западная Куба, Флорида). М.: Наука, 1999.
45. Трунов Б.Д. Ассоциации высокодисперсных минералов в углевмещающих глинистых породах окраинных частей Донецкого бассейна // Минералого-петрографические и геохимические исследования на Северном Кавказе и в Донбассе. Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1972.
46. Феофилова А.П., Левенштейн М.Л. Особенности осадко- и угленакопления в нижнем и среднем карбоне Донецкого бассейна // Тр. ГИН АН СССР. 1963. В. 73.
47. Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых / Под ред. Б.Н. Ласкорина. М.: Недра, 1986.
48. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ): Справочник / В.С.Вдовченко, М.И.Мартынова, Н.В.Новицкий, Г.Д.Юшина. М.: Энергоатомиздат, 1991.
49. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л.: Наука, 1985.
50. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Эмпирические закономерности в минералогии углей (обзор) // Сыктывкарский минералогический сборник №31. Сыктывкар, 2001.
51. Bailey A. Chemical and mineralogical differences between Kitaning Coal from marineinfluenced versus fluvial sequences // Journal of Sedimentary Petrology. 1981. V. 51. № 2.

Ростовский государственный университет
Рецензенты — А.П. Бакалдина, Д.Д. Котельников