

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Предложенные кинетические характеристики процесса взаимодействия угля и газа могут быть использованы при изучении структурных изменений в угле на макро и микро уровне.

2. При проведении ГДВ в угольном пласте проходят два параллельных процесса; процесс деструкции угля, сопровождающийся увеличением нарушенности и снижением предельной сорбционной способности. И процесс деструкции угольного вещества на молекулярном и над молекулярном уровне.

3. При проведении технологического воздействия происходит отрыв от сопряженных систем периферийных групп, с последующим выносом их в зону кольматации или в технологическую скважину. В результате воздействия угольное вещество упрощается и структурируется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А.В., Жмыхов В.Н., Силин Д.П., Петух А.П., Костыря В.Я. Применение гидродинамического воздействия для дегазации молотковой лавы // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработка: Матер. XVI Межд. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2006. – С.4-6.
2. Способ анализа углей методом ЭПР: А.с. 1679325 СССР, МКИ⁴ G 01N 24/10. / А.С.Поляшов, А.В.Бурчак, В.Е.Забигаило, Н.И.Насос. (СССР). – № 4691698; Заявлено 3.03.92; Опубл. 25.08.92, Бюл. №12. – 3 с.
3. Ингрэм Д. ЭПР в свободных радикалах: Пер. с англ. – М.: Иностран. лит., 1961. – 278 с.
4. Кучер Р.В., Компанец В.А., Бутузова Л.Ф. Структура ископаемых углей и их способность к окислению. – Киев: Наук. думка, 1980. – 168 с.

УДК: 553.9:553.061.4:552.513

Докт. геол. наук В.А. Баранов
(ИГТМ НАН Украины)

ОСНОВНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ КАТАГЕНЕЗА, ГАЗОНОСНОСТИ И ВЫБРОСОПАСНОСТИ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ДОНБАССА

Виконано огляд робіт і вивчені стадії катагенезу. Виділена середня стадія катагенезу, за якої відбуваються викиди порід і спостерігається максимальна газонасність порід. Відзначена можливість прогнозування нижньої й верхньої межі середньої стадії катагенезу.

BASIC GEOLOGICAL FACTORS OF KATAGENESIS, GAS-BEARING AND OUTBURSTNESS COALMEASURE BREEDS OF DONBASS

The review of works is executed and the stages of katagenesis are studied. The middle stage of katagenesis, in which the troop landings of breeds are and the maximal gas-bearing of breeds is marked, is selected. Possibility of prognostication of low and high bounds of middle stage of katagenesis is marked.

Донецкий угольный бассейн является, по сути, основной энергетической базой Украины, содержащей не только уголь, но и значительные ресурсы метана. Поскольку основное его количество содержится в породах (около 30 % терригенных отложений бассейна сложены песчаниками), проблема формирования коллекторских данных указанных пород в настоящее время приобретает все большее научное и практическое значение. Интерес к этой

информации вызван тем, что газ распределяется в стратиграфическом разрезе карбона не равномерно, подчиняясь региональным закономерностям, изучению которых посвящено немалое количество работ.

Одним из фундаментальных понятий в литологии является эпигенез или эпигенетические преобразования осадочных пород, ответственные за изменение физико-механических, физико-химических, коллекторских, минералогических и других свойств пород. В настоящее время в литологии выделено четыре основные стадии образования и эпигенетического преобразования пород: гипергенез, седиментогенез, диагенез и катагенез [1]. Последняя стадия имеет очень важное значение в жизни человека, поскольку в ее отложениях формируется основная часть всех каустобиолитов (уголь, нефть, газ). По этой причине исследование катагенетических преобразований осадочных горных пород актуально во всех отношениях, позволяя давать региональную прогнозную оценку наличия определенных видов горючих ископаемых в выделенных стратиграфических интервалах. Рассмотрим историю определения и становления стадии катагенеза в литологии вообще, а также возможности выделения продуктивных стратиграфических интервалов в этой стадии, поскольку с ними связаны не только нефте- или газоносность, но и выбросоопасность углеводородных пород.

Понятие "катагенез" было введено в геологию А.Е. Ферсманом в 1922 г для определения химических и физико-химических процессов в земной коре, наступающих после диагенеза, но предшествующих метаморфизму [2]. При этом, большинство зарубежных ученых до сих пор придерживаются точки зрения К.В. Гюмбеля, который все постседиментационные изменения осадков принимал как единый процесс, названный термином "диагенез". Один из ведущих литологов США - Ф.Дж. Петтиджон [3], категорически утверждает, что не существует разрыва между диагенезом и метаморфизмом, как принято считать, и все преобразования в твердой фазе считаются метаморфическими, независимо от того, происходят они при нормальных или повышенных значениях температуры и давления. Несмотря на такую категоричность, тщательные и всесторонние исследования процесса литификации осадочных пород позволило получить новые, ценные результаты как в научном, так и в прикладном значении, а катагенез, как определенная стадия литогенеза, получает все большее признание.

Н.М. Страхов [4] выделил ранний катагенез, характеризующийся наличием неизмененного глинистого вещества и поздний, при котором изменяется глинистое вещество и появляются структуры растворения обломочных зерен под давлением. Причем, эти две стадии указанный автор объединял с протометаморфизмом под общим названием метагенез. Определенная неоднозначность выделенных им стадий была вызвана недостаточными объемами данных о глубоких горизонтах осадочных пород.

Несколько позже Н.Б. Вассоевич и др. [1] выделили три стадии катагенеза: прото-, мезо- и апокатагенез. Первая стадия делится на три градации, мезокатагенез - на пять градаций, а апокатагенез - на четыре градации. Таким образом, было выделено в катагенезе три подстадии и двенадцать градаций,

причем это выделение было выполнено на основе изменений органического вещества - угля. Сами авторы данной шкалы указывают, что в течение длительного времени была принята, по сути, "углемарочная" шкала катагенеза, базирующаяся на степени преобразования угольных слоев в осадочных породах. В последнее время, однако, показана недостаточная удовлетворительность такого подхода и предложено отказаться от "углемарочной" шкалы катагенеза. Но дальше предложения дело не пошло, так как новая шкала, разработанная этими учеными, основана на учете изменения состава и свойств витринита и во многом базируется на шкале углефикации. Кроме этого, несмотря на наличие шкалы катагенеза, ее авторы пишут о том, что граница между различными стадиями постседиментационного преобразования осадочного вещества является пока несколько проблематичной, по их мнению, это относится и к границе между осадочными и метаморфическими породами.

В 40-х - 50-х годах выделение стадий катагенеза было одной из особенно актуальных задач в геологии. Это было вызвано необходимостью выделения зон газо- и нефтеносности, определения коллекторов, прогнозирования скоплений углеводородов. Выполненные исследования можно условно разделить на четыре основные направления: изучение органического вещества и выделение на этой основе стадий катагенеза; изучение карбонатов (с этой же целью); изучение степени преобразования обломочных и глинистых минералов, и связь этого процесса со стадиями катагенеза; и, наконец, изучение структурных параметров осадочных пород, для получения качественных и количественных показателей катагенетических преобразований.

Степень преобразования органического вещества осадочных пород и привязка этих данных к степени изменения собственно осадочных пород, стало основным направлением, позволившим разработать различным авторам несколько шкал катагенеза, принципиально не отличающихся между собой, в том числе и используемую на практике в настоящее время [1]. Это направление развивается как в нашей стране, так и за рубежом. Несмотря на это, все больше публикаций появляется с данными о несогласованности и расхождении процессов углефикации органики и литификации углеводеносных пород в Донбассе [5], Южно-Якутском бассейне [6], Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [7], в угольных бассейнах Западной и Восточной Сибири [8], в Кузнецком и Горловском бассейнах [9].

Авторы последней приведенной работы объясняют данное противоречие тем, что скорость преобразования под влиянием высоких температур и давлений органического (уголь) и неорганического (вмещающие породы) веществ различна, вследствие их неодинаковой устойчивости в обстановке направленного изменения термодинамических условий.

Второе направление основано на изучении преобразования карбонатов и связи этих преобразований со стадиями катагенеза. Одним из первых ученых, детально осветивших процессы растворения, миграции, преобразования, кристаллизации и коррозии карбонатов в период эпигенеза был Л.Б. Рухин [10].

Им были введены в литологию понятия "регрессивного и прогрессивного эпигенеза", признанные всеми литологами.

Продолжая эти исследования, авторы работы [9] приводят данные, согласно которым карбонаты присутствуют на всех стадиях преобразования пород, корродируют кварц, полевые шпаты, биотит, обломки глинистых пород и эффузивов, первичный глинистый цемент. То, что карбонаты терригенных пород являются индикаторами стадий постседиментационных преобразований, отмечал В.И. Муравьев [11]. Позже, О.В. Япаскурт [12] негативно отнесся к развитию этого направления, указав, что песчаники на ранней стадии литогенеза, сцементированные карбонатным веществом или битумом - инертны к дальнейшим преобразованиям и поэтому не могут быть использованы для оценки конечных преобразований изучаемой толщи. Несмотря на это категорическое утверждение, исследования в этом направлении продолжаются [13]. Столь противоречивые данные свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения указанного направления, с точки зрения возможности привлечения данных о вторичных изменениях карбонатов для определения степени преобразованности пород в целом.

Третье направление охватывает исследования катагенеза мелкообломочных и глинистых минералов и минералогических ассоциаций, решению этой проблемы посвящено значительное число публикаций. Кропотливая работа Г.В. Карповой по изучению глинистых минералов в терригенных отложениях стала основой известной монографии [14]. Данную проблему исследовали Н.В. Логвиненко [15] для Донбасса; А.В. Копелиович [16] для юго-запада Русской платформы; А.Г. Коссовская, В.Д. Шутов [17] для отложений Западного Верхоянья, а также другие авторы, выполнившие значительный объем исследований в данном направлении.

Однако однозначно выделить стадии катагенеза на основе изменения глинистых минералов или минеральных ассоциаций, оказалось делом слишком сложным. Некоторые из исследователей - А.В. Копелиович, Г.В. Карпова, О.А. Черников, О.В. Япаскурт, пришли к выводу, что минералы не могут служить индикаторами катагенетических преобразований, вследствие различного состава пород, разных условий формирования и преобразования их для каждого осадочного бассейна.

Четвертым направлением в изучении степени катагенетических преобразований стало исследование структурных параметров осадочных пород, причем его можно разделить на два поднаправления - различие изменения внешних структурных признаков (степень окатанности, формы и количество контактов, размер, цвет и др.), и различие изменения внутризерновых структурных признаков, иными словами, степень дефектности или нарушенности обломочных минералов. Рассмотрим вначале первое поднаправление.

Как отмечалось выше [1], катагенез подразделяется на три стадии, которые отличаются друг от друга характером изменения породы. Если в раннем катагенезе (протокатагенезе) изменения, происходящие с породой, сводятся в основном к максимальному ее уплотнению, выраженному в предельном

сближении обломочных зерен, то в среднем и позднем (мезо- и апокатагенезе) гравитационное уплотнение, в сочетании с тектоническим, приводит к весьма характерному явлению: избирательному растворению обломочных зерен под действием давления, сопровождающемуся одновременным отложением растворенного вещества в поровом пространстве. При известных условиях на этих стадиях происходит также внедрение одних обломочных зерен в другие. Это приводит к образованию в песчаниках новых структур, которые получили название структур конформации, инкорпуляции, микростилолитизации и разрастания или регенерации [15-16]. Указанные структуры доступны для изучения под микроскопом в прозрачных шлифах. Было установлено, что более древние песчаники, залегающие на большой глубине, характеризуются более широким развитием таких структур.

Автором работы [18], было предложено учитывать интенсивность развития этих структур по количественному соотношению в шлифе характерных контактов между зернами и некоторыми другими параметрами, как, например, количество контактов, приходящихся на одно зерно. Контакты различались по морфологическому признаку следующим образом: тангенциальные (зерна соприкасаются в одной точке), удлинённые (зерна соприкасаются по какому-то отрезку, ограничивающему их контуры), выпукло-вогнутые и сутурные. Отдельно учитывались так называемые "плавающие зерна", не имеющие в плоскости шлифа ни одной точки соприкосновения с соседними зёрнами.

Этот метод стал отправной точкой для создания целой группы методов, учитывающих различные виды контактов, их количество, минералогическую приуроченность и т.д. Позже исследователи определили, что эти методы также несовершенны, поскольку не учитывают степень отсортированности и окатанности, гранулометрический состав обломочных зерен, количество, распределение и минеральный состав цемента, и некоторые другие особенности.

Часть исследователей обратила внимание на микроструктурные неоднородности внутри обломочных зерен. Основы этого второго поднаправления в исследовании внутризерновой микродефектности заложил В.И. Вернадский [19], выполнивший достаточно полный анализ петрографических работ, опубликованных до конца 19-го века и издавший свои исследования «Явления скольжения кристаллического вещества» в Московском университете в 1897 году.

Позже, Ван Бюрен издал объемную монографию по результатам изучения микроструктуры в кристаллах новым электронно-микроскопическим методом. Сформировавшаяся на этой основе в последующие годы дислокационная теория дефектности органических и неорганических веществ под действием внешних факторов стала существенным вкладом в теорию и практику таких направлений в науке как прочность металлов, разрушение различных веществ, зонная теория и других.

Авторы работы [20], впервые получили пластические деформации в минералах и горных породах искусственным путем в созданной ими установке объемного сжатия. Они выделили следующие виды пластических деформаций:

деформационное пластинкование, деформационные пояса и волнистое угасание. Немного позже И.М. Симанович [21], выделил иррациональное двойникование и «смятие», иными словами – смятый кварц, а Г.Н. Вертушков и др. [22], выделил пояса деформации. В 80-ых годах прошлого столетия, автор данной статьи выделил и описал еще два новых вида пластических деформаций: трансляционные линии скольжения и таблитчатый кварц [23].

Следует отметить, что детальное исследование именно пластических деформаций в обломочных зернах песчаников позволили разработать основы новой шкалы катагенеза, базирующейся на структурировании вещества в процессе термодинамических преобразований осадочных пород [24-25]. Результаты этих исследований позволили выделить реально существующие три стадии катагенеза: ранний, средний и поздний, причем средняя стадия катагенеза отличается метастабильным состоянием пород, наибольшей их неустойчивостью и выбросоопасностью. То есть, только песчаники средней стадии катагенеза являются выбросоопасными [26].

С точки зрения газоносности пород, средняя стадия катагенеза также существенно отличается. Собственно говоря, газоносность пород и выбросоопасность их имеют закономерную связь, детально изученную В.Е. Забигаило и др. [27]. Указанная связь определяется рядом природных факторов: минералогическим составом, термодинамическими условиями преобразования пород, тектоническими напряжениями, физико-механическими и коллекторскими параметрами. Рассмотрим наиболее важные из перечисленных факторов.

К ним относится минералогический состав исходных осадочных отложений. Понятно, что из песка в процессе диагенеза и катагенеза образуется песчаник, из меловых отложений известняк, из глинистых – аргиллит. Это самые общие положения, но песок, как позже и песчаник может иметь существенно разный состав. Так, карбоновые полимиктовые песчаники Воркутинского угольного бассейна имеют обычно незначительное количество обломочного кварца – до 40 - 50 %, в то время, как олигомиктовые песчаники Донбасса имеют до 60 – 80 % обломочного кварца. Выбросы песчаников в СНГ происходят только в Донбассе, хотя глубины отработки на других угольных бассейнах тоже превышают 600 м – формальную глубину появления выбросоопасных пород, согласно существующим нормативным документам. Вполне вероятно, что жесткий кварцевый каркас способен накапливать определенное время упруго-пластические деформации на стадии среднего катагенеза и при техногенном воздействии реагирует на изменившееся напряженно-деформируемое состояние резкой релаксацией, то есть выбросом.

Следующим фактором являются термодинамические условия преобразования пород. Температура и давление вышележащей толщи определяют условия, в которых происходят физико-химические, структурные, минералогические и другие преобразования. Средняя стадия катагенеза не случайно определяет выбросоопасность пород. Их структурирование, эволюция или преобразование направлено (при прогрессивном катагенезе) на формирование более устойчивых структур, минералов и их свойств, но при

этом происходит разрушение первоначальных структур, минералов и свойств. Именно в среднюю стадию катагенеза старые формы разрушаются, а новые еще не сформированы в полном объеме.

Тектонические напряжения, накладываясь на давления вышележащей толщи, изменяют определенным образом свойства пород. Основные параметры, на которые действуют тектонические напряжения, являются пористость и проницаемость. Значения этих параметров в бассейнах, не претерпевших тектонических напряжений, при прочих равных условиях, значительно выше. Проницаемость пород ДДВ выше, чем в Донбассе, примерно на порядок. В Донбассе выбросы пород в отдельных выработках происходят достаточно регулярно, иногда подряд, после каждой отпалки. То есть газ в породах есть, но фильтрации газа из напряженных пород забоя не происходит, слишком низкая проницаемость.

Таким образом, выбросоопасность пород на стадии раннего катагенеза отсутствует потому, что не сформированы необходимые для этого условия: недостаточное напряженное состояние, значительная проницаемость, структура и минеральные формы еще находятся в условиях относительной устойчивости. На стадии позднего катагенеза выбросоопасность отсутствует потому, что энергия напряженно-деформированного состояния пород уже реализовалась в более устойчивую для данных условий структуру, в более устойчивые минеральные формы. Проницаемость в этих условиях очень низкая, но низкая и пористость, нет или очень мало газа, а значит, не создается повышенное напряженное состояние.

Из этих посылок, можно сформулировать очень важный вывод: наиболее благоприятные условия для накопления газа и формирования его скоплений существуют именно в породах средней стадии катагенеза, которая может быть определена достаточно точно [24-26]. Указанная стадия преобразования пород имеет свои верхние и нижние ограничения по пористости, проницаемости, физико-механическим и другим параметрам. В различных осадочных бассейнах средняя стадия катагенеза будет находиться на разных глубинах, что обусловлено условиями формирования и преобразования пород, наличием или отсутствием инверсионных процессов, состава пород, количеством и качеством органических отложений. Глубина этой стадии может меняться от нескольких сотен метров для условий Донбасса, до нескольких километров для условий ДДВ.

Таким образом, на сегодняшний день разработаны основные теоретические принципы и практические методы выделения средней стадии катагенеза, являющейся ответственной за продуктивные скопления углеводородов и выбросоопасность пород. Закономерная связь газоносности и выбросоопасности достаточно полно исследована школой академика В.Е. Забигаило и не вызывает сомнений. Дальнейшее изучение существующей проблемы необходимо смещать в сторону локализации скоплений углеводородов на конкретных площадях с учетом тектонических и литологических процессов и условий формирования продуктивных на газ участков и горизонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по литологии – М.: Недра, 1983. – 509 с.
2. Ферсман А.Е. Геохимия России – Л.: ОНТИ, 1922. – С.29-30.
3. Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы – М.: Недра, 1981. – 751 с.
4. Страхов Н.М. Общие проблемы геологии, литологии и геохимии: Избранные труды – М.: Наука, 1983. – 640 с.
5. А.с. 1000908 СССР, МКИ G01N33/24. Способ определения степени катагенеза органического вещества / В.И. Ручков (СССР). – 4 с.; Оpubл. 14.09.83. – Бюл. №8.
6. Желинский В.М., Корнет В.Н. Корреляция постседиментационных преобразований минерального и органического вещества в осадочных формациях // Литол. нефтегаз. и угленосн. отложений Якутии. – Якутск, 1990. – С. 134-143.
7. Белкин В.И. Соотношение показателей углефикации органического вещества и литификации вмещающих пород в Западной Сибири и угольных бассейнах // Проблемы ускорения научно-техн. прогресса в обл. разраб. нефт. месторожд. Зап. Сибири. – Тюмень, 1987. – С. 63-71.
8. Мазор Ю.Р., Пронина Н.В., Козельский И.Т. Границы качественной перестройки углей и вмещающих пород // Тр. сов. геол. на 28 сес. Междунар. геол. конгр. «Ресурсы углей и торфа». Вашингтон, июль, 1989. – С. 67-80.
9. Воронцов В.В., Топорев С.А. Вопросы эпигенеза вмещающих пород угленосной толщи Кузнецкого и Горловского бассейнов // Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород. – Л.: Наука, 1968. – С. 252-284.
10. Рухин Л.Б. О некоторых закономерностях эпигенеза // Вопросы минералогии осадочных образований. – Львов: ЛГУ, 1956. – Т.3 и Т.4. – С.425-451.
11. Муравьев В.И. карбонаты терригенных пород – индикаторы стадий постседиментационного преобразования // Эпигенез и его минеральные индикаторы – М.: Наука, 1971. – С.145-153.
12. Япаскурт О.В. Эпигенез верхнепалеозойских отложений на границе хараулакского антиклинория и приверхоанского прогиба // Литол. и п. и. – 1978. – №1. – С. 95-104.
13. А.с. 1046508 СССР, МКИ E21C39/00. Способ определения степени катагенетической преобразованности карбонатных пород / В.В. Иванов, А.В. Гревцев (СССР). – 2с.; Оpubл. 30.03.83., Бюл. №37.
14. Карпова Г.В. Глинистые минералы и их эволюция в терригенных отложениях – М.: Недра, 1972. – 173 с.
15. Логвиненко Н.В. Постдиагенетические изменения осадочных пород – Л.: Наука, 1968. – 92 с.
16. Копелиович А.В. Эпигенез древних толщ Юго-Запада Русской платформы: Тр. ГИН. – М.: Наука, 1965. – Вып. 121. – 312 с.
17. Коссовская А.Г., Шутов В.Д. Зоны эпигенеза в терригенном комплексе мезозойских и верхнепалеозойских отложений Западного Верхоянья // ДАН СССР, 1955. – Т.103. – №6. – С. 93-98.
18. Taylor T.M. Pore spacereduction in sandstones // Bull. Amer. Association Petr. Geol. – 1950. – vol.34. – №4. – С. 317-322.
19. Вернадский В.И. Кристаллография. Избранные труды – М.: Наука, 1988. – 344 с.
20. Carter N.L., Christie J.M., Griggs D.T. Experimental deformation and recrystallisation of quartz // J. Geol., 1964. – V72. – N7. – P 687-733.
21. Симанович И.М. Кварц песчаных пород – М.: Наука, 1978. – Вып.314. – 154 с.
22. Вертушков Г.Н., Борисков Ф.Ф., Емлин Э.Ф. и др. Жильный кварц восточного склона Урала / Свердловск, СГИ, 1970. – Вып.66. – ч.2. – 103 с.
23. Баранов В.А. Микронарушенность кварца песчаников Донбасса в связи с их выбросоопасностью. Автореф. ... канд. геол.-мин. наук. – Днепрпетровск, 1989. – 17 с.
24. Баранов В.А. Особенности катагенеза песчаников Донбасса // Науковий вісник НГА України, 2000. – №4. – С.3-4.
25. Баранов В.А. Спосіб встановлення ступеня катагенезу порід. Патент України, №31482 А. Оpubл. 15.12.2000., Промисл. власн. №7-11.
26. Баранов В.А. Определение нижней и верхней границ выбросоопасности горных пород // Уголь Украины, 1999. – №2. – С.38-40.
27. Забигаило В.Е., Лукинов В.В., Широков А.З. Выбросоопасность горных пород Донбасса – Киев: Наук. думка, 1983. – 288 с.