



К. А. БЕЗРУЧКО,
доктор геол. наук
(ИГТМ им. Н. С. Полякова
НАН Украины)



А. В. БУРЧАК,
канд. техн. наук
(ИГТМ им. Н. С. Полякова
НАН Украины)



Л. И. ПИМОНЕНКО,
доктор геол. наук
(ИГТМ им. Н. С. Полякова
НАН Украины)

Тектоногеохимическая природа формирования выбросоопасных зон в угольных пластах

Предложена гипотеза образования выбросоопасных зон в угольных пластах, которая базируется на влиянии тектоники на геохимические процессы. Периодические тектонические движения способствуют образованию ячеек структурно преобразованного угольного вещества, в которых происходит накопление критического объема потенциальной энергии и генерируется газ.

С увеличением глубины разработки угольных пластов и интенсификацией горных работ возрастает вероятность возникновения газодинамических явлений. Наиболее опасны выбросы угля и газа, причины появления которых объясняются многочисленными гипотезами. В одних работах основная роль отводится газовому фактору, в других — напряженному состоянию углепородного массива (под влиянием палео- и современной тектоники), в третьих развивается геохимический подход к объяснению природы газодинамических явлений.

Общепризнана энергетическая гипотеза, согласно которой внезапные выбросы — результат сложного взаимодействия газового фактора, напряженного состояния углепородного массива и физико-механических свойств углей и вмещающих пород. Однако нет единой точки зрения о природе и механизме газодинамических явлений и ни одна из существующих теорий не описывает их многообразие, что не позволяет определить конкретные характеристики выбросоопасности угольных пластов и параметры

выбросоопасных зон, т. е. затрудняет их прогнозирование. Поэтому исследования, направленные на выявление природы выбросоопасности угольных пластов, остаются актуальными.

В работе [1] предложена гипотеза образования выбросоопасных зон в угольных пластах, которая базируется на влиянии тектонических движений на геохимические процессы. Согласно указанной гипотезе периодические тектонические движения способствуют образованию в пластах ячеек структурно преобразованного угольного вещества, в которых накапливается энергия в свободном и связанном состояниях. В дальнейшем этот энергетический потенциал может способствовать процессам, которые происходят в угольном пласте (например, газодинамическим явлениям).

Одна из основных особенностей внезапных выбросов — приуроченность к зонам влияния разрывных (порядка 80%) и складчатых нарушений, местам изменения мощности пластов угля [2]. Изучение взаимосвязи выбросов с различными типами нарушений показало, что они приурочены

ко всем видам складчатых и разрывных нарушений, участкам препарации угля или отдельных его пачек. Нарушения образуются на различных этапах формирования бассейна. Участки препарации угольных пластов и складки продольного изгиба в основном возникают в период инверсии геотектонического режима (подъем и сжатие угленосной толщи), средне- и крупноамплитудные разрывы — на протяжении длительного времени, малоамплитудные — в постинверсионный период.

Теоретически связь выбросов с нарушенными зонами объясняется тем, что крылья складок и их периклинали, а также зоны влияния разрывов обладают более низкой прочностью углей (или отдельных его пачек), что создает благоприятные условия для накопления и сохранения газов в угольных пластах и вмещающих породах под большим давлением. Вскрытие таких зон приводит к выбросам. С одной стороны, встречаются также выбросы, которые не приурочены к нарушениям, с другой — в большинстве случаев при пересечении нарушений выбросы не происходят. Попытки установить какие-либо функциональные связи с параметрами разрывных дислокаций успеха не имели. Очевидно, что факт наличия нарушений не достаточен, но необходим для формирования выбросоопасных зон и проявления выбросов.

Дислоцированность бассейна (от заложения впадины до настоящего времени) формировалась в течение четырех основных периодов под действием разных тектонических сил и процессов, определивших особенности и расположение нарушений [3]. Параллельно, при погружении осадочных отложений под воздействием температуры и геостатического давления (отмечается также влияние геологического времени, подземных вод, магматических и гидротермальных процессов [4]), механохимические и электрохимические процессы активизируются и приводят к генерации газов. Исходя из того что образование зон разуплотнения, сохранение и миграция флюидов (механические процессы), а также генерация газов (геохимические процессы) происходили одновременно и основная роль в их активизации и развитии принадлежит тектоническому воздействию, формирование выбросоопасных зон, связанных с нарушениями, основывается на представлении о влиянии тектонических сил на геохимические процессы. Предлагаемая модель образования выбросоопасных зон базируется на двух предпосылках.

Первая — развитие дислоцированности. Возникающие в процессе тектогенеза подвижки блоков

можно рассматривать как импульсные механические нагрузки, вследствие которых в массиве появляются и распространяются несколько разновидностей волновых напряжений. Интерференция волн напряжений, вызываемых тектоническими силами и отражающимися от «упора» (в качестве упора могут служить крупные тектонические элементы либо участки, отличающиеся физико-механическими свойствами), приводит к образованию системы стоячих волн [5]. В зонах интерференционного усиления волн напряжений появляются максимально деформированные участки — замки антиклинальных складок, зоны малоамплитудных нарушений. Подтверждением служит закономерное изменение расстояний между нарушенными зонами, крупно- и среднеамплитудными разрывами и складками, что отчетливо наблюдается в Центральном районе Донбасса, где субширотные надвижки располагаются на одинаковых расстояниях друг от друга. Такое же закономерное расположение локальных складок установлено для Петровского комплекса шахт Донецко-Макеевского района [2].

Базируясь на представлениях о волновой природе напряжений в массиве, можно предположить, что на каждом тектоническом этапе активизируются участки определенного простираения, совпадающие с зонами интерференции. Дислокации в этих участках расположены неравномерно, но в разрушение включаются только те, направление которых соответствует полю напряжений этого этапа. Поскольку направления действовавших сил, а следовательно, и вызванных ими полей напряжений, изменялись в Донбассе трижды, то в процессе формирования постинверсионной структуры бассейна одни разуплотненные зоны активизировались чаще, другие — реже; соответственно дислокации одних направлений увеличивались больше, других — меньше.

Дислокации, сосредоточенные в разуплотненной зоне, в зависимости от длины могут аккумулировать или диссипировать энергию. Так, дислокации малых размеров накапливают энергию, а достигшие критических длин — отдают. Поэтому в начале каждой тектонической фазы запас энергии будет увеличиваться, а затем за счет разрастания дислокаций уменьшаться. Такой механизм отражает возможность «поддержания» разуплотненности участков.

Вторая — активизация и развитие геохимических процессов. Одновременно с деформацией массива тектонические импульсы влияют на изменение молекулярной структуры и химического состава отложений. Следствием возникновения ряда хи-

мических, механохимических, электрохимических процессов являются структурные трансформации, происходящие в угольном веществе в двух направлениях — деструкция алифатической составляющей угольного вещества и поликонденсация ароматической компоненты [4, 6, 7].

Деструкция протекает с преобразованием макромолекул угольного вещества в более простые молекулярные соединения и накоплением продуктов реакций, устойчивых в данной термодинамической ситуации. Детальные исследования химических процессов преобразования углей [7] и экспериментальные исследования механического воздействия на них [4] показали, что даже при небольших значениях энергии и невысоких температурах (200 °С) в макромолекуле угля или рассеянного органического вещества возрастает количество и концентрация ароматических структур, снижается число кислородных групп, алифатических цепочек и СН-функциональных групп. Следовательно, механическое воздействие на углепородный массив приводит к понижению энергии активации реакций синтеза углеводородов, делая их термодинамически разрешенными [4]. При этом выделение метана проходит как образование единственного устойчивого углеводородного компонента [7]. Эти данные свидетельствуют о возможности дополнительного образования метана на каждом тектоническом этапе.

Суть предлагаемой гипотезы состоит в том, что под действием тектонических сил возникают импульсные механические нагрузки, вызывающие в массиве появление и распространение волновых напряжений, формирующие в разуплотненных зонах угольных пластов отдельные небольшие участки (ячейки). В них происходят активные физико-химические процессы, которые способствуют генерации метана. Повторяющиеся в процессе образования бассейна различные по значениям и направлениям поля напряжений приводят к накоплению дислокаций в угольном веществе, увеличению параметров разуплотненных участков и многократной циркуляции газовой фазы в слоистой угленосной толще. Вследствие периодического изменения знака приложенных сил каждая следующая порция энергии снижает предел сопротивления деформациям и увеличивает неравновесное состояние массива (особенно в ячейках). В результате внутриобъемные микронапряжения накапливаются. Таким образом, под действием повторяющихся полей напряжений в разуплотненных участках угольного пласта, приуроченных к зонам влияния разрывов

и складок, формируется ячейка, в которой уголь более дислоцирован, насыщен газами и обладает большим запасом накопленной потенциальной энергии.

Основой тектоногеохимической гипотезы образования выбросоопасных зон служат аналитические расчеты относительно возможности влияния тектонических сил на активизацию химических процессов и образование метана на современном этапе [1]. Расчеты показали, что энергия, вызванная современными геодинамическими процессами, сопоставима с энергией, необходимой для деструкции макромолекул на небольших участках — ячейках. Наиболее вероятно, что такие ячейки появляются на участках угольного пласта, отличающихся неоднородной структурой, образовавшейся как во время накопления, так и преобразования органической массы.

Природа неоднородности обуславливается сочетанием различных микрокомпонентов угля, свойства которых (метаноемкость, модули Юнга, сдвига и сжимаемости) отличаются. Неоднородность может быть представлена как скопление микроучастков с разной степенью преобразования органической массы либо аккумуляции большого количества дефектов и дислокаций. Существование в нарушенных зонах участков с различными свойствами подтверждается, по мнению авторов, результатами исследования показателей качества и микроструктуры углей в зонах влияния разрывных нарушений. Из приведенных в работе [8] данных следует, что по показателям выхода летучих, содержанию углерода, отражательной способности, объемной массы и пористости, а также по результатам дифференциально-термического анализа изменения фиксируются только непосредственно в сместителях нарушений, но не в зонах влияния разрывных нарушений углей. При этом независимо от амплитуды разрыва различия носят случайный характер.

В таких неоднородных участках-ячейках на границах неоднородностей также будет появляться и концентрироваться свободная энергия, способствующая возникновению разнонаправленных дислокаций. Периодическое поступление новых порций энергии приведет к разрастанию ячеек, увеличению параметров дислокаций определенного направления, что ослабит внутри- и межмолекулярные связи и соответственно повысит потенциал свободной энергии вещества, снизит энергетический барьер и активизирует в них химические реакции, влияющие на генерацию метана. Преобразования в энергетически ослабленной молекулярной структуре углефицированной органики ячеек

активируются механохимическими реакциями и проходят в угольном веществе по радикально-цепному механизму.

При таком подходе к формированию выбросоопасных ячеек очевидна роль строения и мощности угольных пластов. Мощные пласты в большинстве случаев отличаются сложным многопачечным строением и неоднородностью состава, что способствует их большей податливости к разрушению. Можно предположить, что с повышением мощности пласта увеличивается объем активных ячеек и они образуются с меньшими затратами энергии. Поэтому многопачечные и мощные угольные пласты более опасны по выбросам и им свойственна более высокая их интенсивность.

Тектонические импульсы способствуют «прокачиванию» через зоны разуплотнения поровых растворов, что активизирует процессы взаимодействия флюидов с породами и углями и вовлекает в процесс создания выбросоопасных ячеек вмещающие породы, в частности почвы и кровли. Породы, особенно песчаники, обладают большей (по сравнению с углями) пористостью, т. е. способностью сохранять метан, и содержат рассеянное органическое вещество, которое также участвует в процессе генерации метана.

Литологически различные слои и прослойки отличаются физико-механическими свойствами, а следовательно, и собственными частотами колебаний, что обуславливает формирование индивидуальных деформационных условий в каждом из них и увеличивает неравновесность термодинамической системы в массиве. В результате возрастают упругие и пластические деформации зерен породобразующих минералов и (или) их смещения относительно друг друга, что вызывает образование избыточной свободной энергии, превышающей в десятки и сотни раз ее фоновые значения. Чем больше дифференцированность вмещающих пласт отложений, тем больше запасенной энергии в горном массиве. Кроме того, в пластах песчаников, аргиллитов, алевролитов содержатся вещества, которые могут служить катализаторами процессов газогенерации.

Предлагаемая гипотеза позволяет логично объяснить:

- выбросоопасность отдельных нарушений — существованием в зонах их влияния ячеек, содержащих критические объемы нарушенного угля, обладающих запасом накопленной потенциальной энергии и насыщенных газом;

- приуроченность выбросов к разрывным нарушениям определенного направления — расположением нарушений на наиболее активных в постинверсионное и настоящее время участках тектонических движений;

- различную интенсивность выбросов — параметрами ячеек (возможно, что при небольших размерах ячейки запасенной энергии и газа может быть недостаточно для выброса, при больших — энергия может быстрее релаксироваться, метан — дегазироваться).

Выводы. Интенсивные техногенные процессы, происходящие при разработке угольных пластов, накладывающиеся на современные природные (совместной интенсивности которых достаточно для активизации структурных трансформаций и газогенерации в ячейке угольного вещества), способствуют неравномерному увеличению внутренних напряжений. Превышение критических напряжений в некоторых ячейках инициирует внезапный выброс угля и газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукинов В. В. Тектоногеохімічна гіпотеза утворення викидонебезпечних зон у вугільних пластах / В. В. Лукинов, Л. І. Пимоненко, О. В. Бурчак, Д. А. Суворов // Доповіді НАН України. — 2010. — № 2. — С. 114–118.
2. Забига́йло В. Е. Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса / В. Е. Забига́йло, В. В. Лукинов, Л. И. Пимоненко, Н. В. Сахневич. — К.: Наукова думка, 1994. — 150 с.
3. Лукинов В. В. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса / В. В. Лукинов, Л. И. Пимоненко. — К.: Наукова думка, 2008. — 350 с.
4. Черский Н. А. Влияние тектоно-сейсмических процессов на образование и накопление углеводородов / Н. А. Черский, В. П. Царев, Т. И. Сороко, О. Л. Кузнецов. — Новосибирск: Наука, 1985. — 260 с.
5. Плотников Л. М. Об отражениях в геологических объектах волновой природы механических напряжений / Л. М. Плотников, А. И. Петров // Давления и механические напряжения в развитии состава, структуры и рельефа литосферы: материалы к совещанию. — Л., 1969. — С. 45–50.
6. Нестеренко Л. Л. Основы химии и физики горючих ископаемых / Л. Л. Нестеренко, Ю. В. Бирюков, В. А. Лебедев. — К.: Вища шк., 1987. — 359 с.
7. Саранчук В. И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля / В. И. Саранчук, А. Т. Айруни, К. Е. Ковалев. — К.: Наукова думка, 1988. — 192 с.
8. Мишин Н. И. Влияние разрывных нарушений на показатели качества угля // Роль тектоники в формировании горногеологических факторов угольных месторождений / Н. И. Мишин. — Л.: Мингео СССР, ВСЕГЕИ, 1983. — С. 192–209.