

гірських порід - знижуються. Це свідчить про двоїстий вплив глибини виконання тампонажних робіт із застосуванням ТПМ на їхню вартість. У цьому зв'язку рекомендовано доцільним визначити оптимальне значення глибини H , яка відповідає мінімуму C_0 .

Дослідження залежності $C_0 = f(H)$ на екстремум з урахуванням виразів (2) і (3) дозволило визначити оптимальну глибину застосування ТПМ із використанням вибійного електронагрівача

$$H_0 = \frac{N_{\text{л}}}{2qg} \left(\frac{C_2 m_2}{\nabla N_{\text{н}}} - \frac{1}{V_c} - \frac{Qg}{N_{\text{л}}} \right). \quad (4)$$

Рішення рівняння (4) показало, що оптимальна глибина застосування запропонованої технології ізоляції поглинаючих горизонтів складає 350...400 м.

Економічний ефект від упровадження розробленого способу тампонування поглинаючих горизонтів із застосуванням термопластичних матеріалів складає 459 тис. гривень у рік при обсязі проведення тампонажних робіт у 100 свердловинах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Судаков А.К. Методика проектирования ликвидации поглощений очистного агента зон буровых скважин // Научный вестник НГА Украины. – 1999. - №3. - С. 44-46.

УДК 551.243:553.981:622.279

В.А. Привалов,
Донецкий национальный технический университет,
Е.А. Панова,
УкрНИМИ, г. Донецк

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАНА В УГЛЕНОСНОЙ ТОЛЩЕ ДОНБАССА

На розподіл вуглеводневих збагачених на метан газів у вугленосних відкладах Донбасу суттєво впливають тектонічні умови під час інверсійних епізодів і фаз складчастості. У статті розглядається геологічна аргументація щодо з'ясування природи факторів міграційних процесів і типів пасток на прикладі Донецько-Макіївського та Чистяково-Сніжняньського районів.

THE INFLUENCE OF TECTONIC PROCESSES ON METHANE REDISTRIBUTION IN COAL-CONTAINED SEAM IN DONBAS

The tectonic conditions considerably influence the distribution of carbohydrate gases rich in methane in carbohydrate deposits in Donbas during inversion episodes and phases of the folding. Geological reasoning for explanation of the nature of the aspects of migration processes and types of traps are discussed in the article on the example of Donetsk-Makeevka and Chystyakovo-Snyzhnyansk region.

Особенностью Донбасса является то, что в процессе своей эволюции этот сегмент внутрикратонного Припятьско-Днепровско-Донецкого палеорифта прошел путь от пострифтового синеклизного бассейна, который длительное время испытывал компенсированное прогибание в области седиментации, к трансформированному инверсией (подъемом) и последующими тектоническими движениями компрессионному складчатому сооружению. Еще до начала инверсионных процессов процессы углефикации, проходившие при погружении содержащих растительный материал осадков в поле достаточных по интенсивности тепловых потоков [1], привели к трансформациям исходных погребенных растительных остатков. В результате сформировались сообщество горючих полезных ископаемых, включающее твердое угольное вещество и углеводородные газы преимущественно метанового состава.

В отличие от традиционных залежей углеводородов, где нефте- и газогенерирующие материнские толщи и резервуары разобщены в пространстве, метан угольных месторождений может накапливаться в сорбированном состоянии в микропористой структуре угля. По существу, угольные пласты одновременно являются материнскими газогенерирующими породами и первичными резервуарами.

Как известно [2], инверсионные и орогенические процессы, приводят к потерям уже накопленного в угольных пластах газа. В этом ракурсе режим инверсии вызывает подъем отложений, активизирует эрозионные процессы и нарушает системы первичного кливажа. С другой стороны, перемена знака движений, формирование тектонических нарушений и обособленных секторов сжатия - растяжения, возбуждают вторичные миграционные процессы, которые выражаются в перераспределении уже образовавшихся газов и их избирательном накоплении во вторичных резервуарах. Вновь возникшие газовые скопления приурочены к участкам разуплотнения в породном массиве или локализованы барьерами проницаемости в зонах литологических и тектонических неоднородностей. Влияние инверсионных процессов на газовый режим угленосной толщи неоднозначно, поскольку в связи с подъемом газоносных толщ и последующими эрозионными процессами уменьшается не только литостатическая нагрузка, но и температура горных пород. Как известно [3], сорбционная емкость, кото-

рая по существу и определяет газоносность угольного пласта, является функцией внешнего (сорбционного) давления и температуры сорбента.

Падение литостатической нагрузки (давления) вызывает активные десорбционные процессы, интенсивность которых, согласно уравнению Лангмюра [3], особенно велика в самой верхней части разреза, где вследствие подъема и эрозии может произойти дегазация. Однако эта же модель показывает, что охлаждение прежде залегающих глубже пород в связи с подъемом и денудацией вышележащих отложений может оказать обратное влияние и привести к увеличению сорбционной емкости. Этот эффект будет доминировать на глубоких горизонтах, где в угольных пластах понижаются пластовые давления газа, а следовательно создаются условия для доступа и сорбции новых порций газа, поступающих при наличии миграционных каналов из зон повышенных пластовых давлений или генерируемых в результате новых тепловых импульсов.

Следует отметить, что в момент герцинской инверсии и последовавшей за ней основной фазы (уральской) складчатости, наряду с территориями, находившимися в условиях сжатия и подъема, в пределах ряда секторов, были созданы условия растяжения [4]. В частности, в условиях растяжения на момент герцинской инверсии оказались юго-восточная часть Красноармейского района, Южно-Донбасский район, Донецко-Макеевский район в области западной периферии Донецко-Кадиевского глубинного разлома, участки Дружковско-Константиновской антиклинали. С нашей точки зрения, различия в напряженном состоянии на момент основной фазы складчатости сыграли существенную роль в формировании вторичных резервуаров газа и определило типологию газовых ловушек.

В условиях растяжения на этот момент, при существенно моноклиналином залегании слоев внутрирезервуарная миграция направлена в сторону, противоположную падению пород. Потоки газа устремляются в направлении формирующихся структурных поднятий и антиклинальных складок (например, Дружковско-Константиновская антиклиналь, купольные структуры Южно-Донбасского района и юго-восточной части Красноармейского района).

В этих районах активно формируются сбросовые дислокации, в том числе и со сдвиговой компонентой смещения. В их окрестности возникают локальные перегруппировки кластеров (элементарных объемов горного массива, образующихся на пересечении систем кливажных трещин). Происходит увеличение степени раскрытия трещин, расположенных перпендикулярно по отношению к вектору растягивающих усилий. Среди возможных сценариев перегруппировки - также неравномерное (ступенчато - кулисообразное) раскрытие трещин кливажа, расположенных диагонально к вектору растягивающих усилий, которое возникает за счет вращения кластеров при микроразрядках напряжений по типу сдвиговых дислокаций (рис. 1).

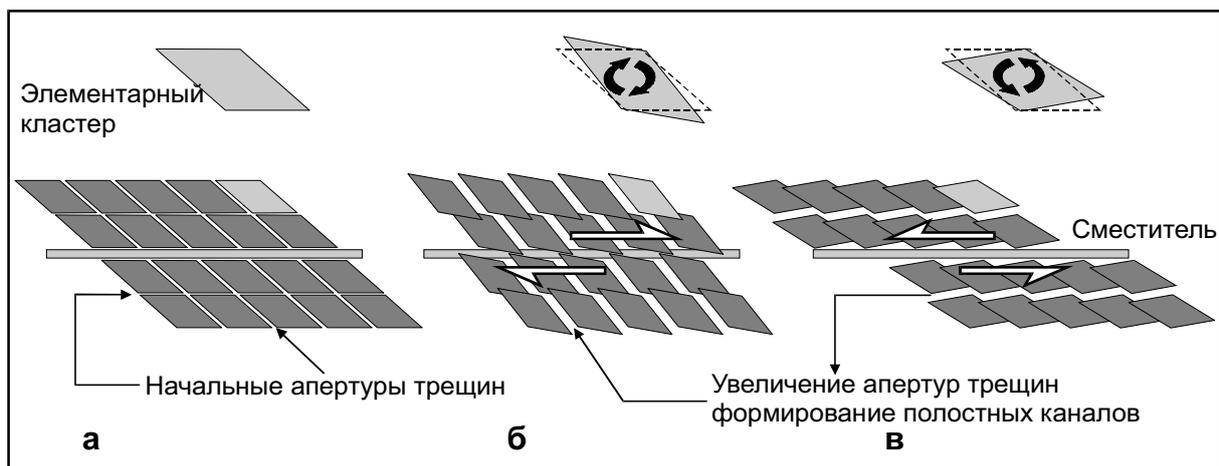


Рис.1. *Раскрытие трещин кливажа за счет вращения кластеров при разрядках напряжений по типу сдвиговых дислокаций в окрестности разрывного нарушения (а), происходящие в режимах правого (б) и левого (в) сдвига*

В целом, эти процессы приводят к улучшению проницаемости и активизации миграционных процессов в пределах зон, примыкающих к разрывам. Часть миграционного потока может достичь верхних горизонтов и быть безвозвратно потерянной. Однако, по мере развития сбросовых дислокаций и разрядки касательных напряжений, средние нормальные напряжения в массиве резко возрастают, вызывая местные флуктуации напряженного состояния вблизи сместителя и дилатационный эффект на некотором удалении от последнего. Данные инструментальных наблюдений показывают, что при формировании сброса в процессе землетрясения происходит падение касательных напряжений на уровне 1 МПа, что вызывает повышение внутрирезервуарного давления в окрестности нарушения, эквивалентное литостатической нагрузке на глубине порядка 125 м [5].

Процесс носит циклический характер и модулирует потоки флюидов, которые инъекционно впрыскиваются в близлежащие трещиноватые коллекторы и купольные структуры, экранируемые слабопроницаемыми глинистыми породами. Естественно, что в процессе развития деформаций по такому сценарию вблизи разрывных нарушений может сформироваться целая серия вторичных газовых скоплений и залежей.

Анализ тектонической эволюции региональных разрывов Донбасса, показывает, что многие из них были заложены как гравитационно-сбросовые формы, однако впоследствии были трансформированы во взбросово-надвиговые формы. В частности, субмеридиональные разрывы Донецко-Макеевского района (Французский, Калининский, Первомайский) были преобразованы в надвиги на границе перми и триаса (пфальцская фаза герцинского тектонического цикла). В этих условиях происходит дальнейшая изоляция и рост давления газа в сформировавшихся вторичных трещинно-поровых и трещинных резервуарах, отжим газа в сводовые отслоения, связанные с образованием складок изгиба в висячих крыльях над-

вигов и в зонах флексурных перегибов. В результате в пределах зон влияния разрывных нарушений (надвигов) сформировалась многоэтажная система газовых скоплений, которые не только приводят к увеличению метановыделения в горные выработки шахт, но и могут рассматриваться объекты для коммерческого извлечения метана. В этом контексте следует рассматривать мощные газовые фонтаны, образовавшиеся при бурении скважин в зоны дробления Калининского и Первомайского надвигов. Значительные по объемам вторичные газовые скопления и залежи локализованы в зонах поперечных флексурных складок и локальных поднятий, осложняющих моноклинали и висячие крылья надвигов. Подъем и последующая денудация отложений в пределах этого сектора Донецко-Макеевского района по данным моделирования оценивается в 2,2 - 2,4 км [1]. Однако здесь эти события приходится на более поздний временной интервал (пфальцская фаза), последовавший после вторичной миграции газа и формирования основных ловушек в условиях растяжения (уральская фаза). Это обстоятельство, а также последующее развитие района во время основных фаз киммерийского и альпийского тектонического циклов в режиме локального сжатия предопределили высокую степень сохранности газа в угленосной толще даже при отсутствии генерации постинверсионного метана. Исследованиями [6] установлено, что газовые скопления в пределах сектора Донецко-Макеевского района в области западной периферии Донецко-Кадиевского глубинного разлома группируются в окрестностях тех региональных нарушений, которые сосредоточили значительные объемы нереализованной энергии упругих деформаций, что указывает на роль современных тектонических напряжений в формировании фактической картины газоносности угленосной толщи. Наибольшие уровни газоносности приходится на поля шахт им. Засядько, им. Поченкова, им. Бажанова, им. Калинина, им. газеты "Донбасс", Глубокая, Восточная, а также участки в пределах Чайкинской и Ясиновско-Ждановской флексурных складок.

Совершенно другие типы газовых ловушек формируются на участках, которые в момент герцинской инверсии находились в условиях сжатия. Здесь активно формируются складки общедонецкого направления и отдельные взбросо-надвиговые дислокации. В процессе формирования складок продольного изгиба во время уральской фазы складчатости [4], обособляются по глубине области локального сжатия и растяжения, разделенные нейтральной поверхностью, где деформации четко выраженного знака отсутствуют. В условиях хрупких деформаций в областях растяжений, которые тяготеют к кровельным (внешним) частям антиклиналей и наоборот, подошвенным (внутренним) частям синклиналей, образуются серии трещин отрыва производных от процесса сгибания. Область сжатия во внутренней части антиклинали блокирует вторичную миграцию газа. Напротив, в пределах внутренних частей синклиналей создаются благоприятные условия для локализации газовых скоплений, то есть формируются ловушки синклинального типа (рис. 2), характерные для Чистяково-Снежнянского и Боково-Хрустальского районов.

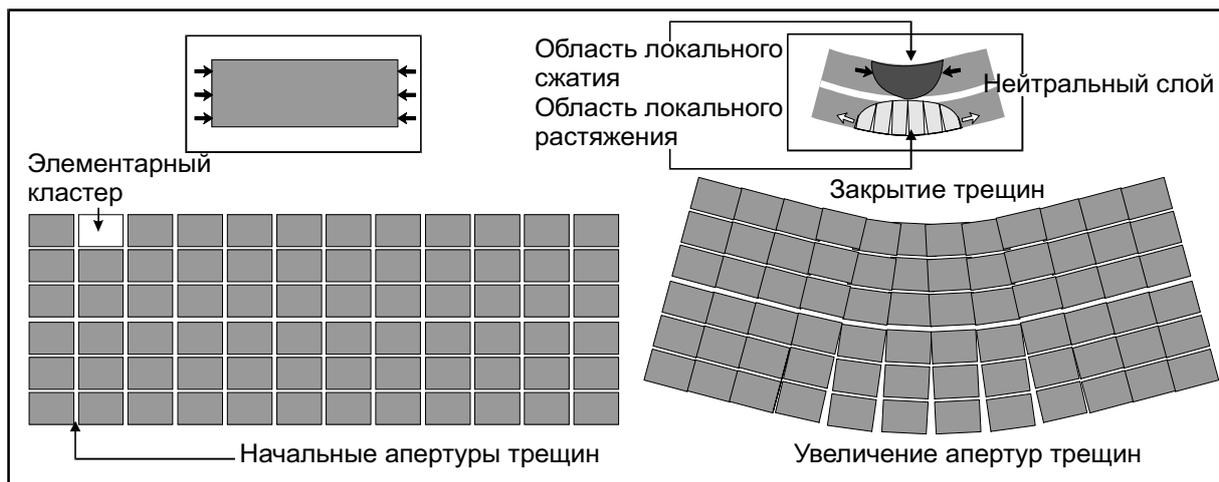


Рис. 2. Формирование ловушек синклинального типа: благоприятные условия для локализации газовых скоплений создаются во внутренней части синклинали, где апертуры (величины раскрытия) трещин достигают максимальных значений

Их особенностью является то, что несмотря на интенсивное проявление "термального" события, связанного с тепловым воздействием глубинных интрузий и постинверсионным скачком теплового потока с 60 мВт/м^2 до 180 мВт/м^2 [1], практически весь газ генерировался еще на стадии погружения отложений и задолго до момента максимального погружения в ранней перми. Кроме того, этот участок испытал значительный подъем и денудацию от 4,1 км до 5,3 км отложений [1]. С точки зрения традиционных концепций о сохранности УВ газов ранней генерации в условиях интенсивной инверсии [2], диагноз сохранности здесь метана - неблагоприятный. Однако, как показывают результаты газового опробования (до $30 - 40 \text{ м}^3/\text{т}$ с.б.м.) и данные фактической метанообильности шахт (до $100 \text{ м}^3/\text{т}$) этого района, в существенно трещиноватых коллекторах донных частей Ряснянской и Чистяковской синклиналей аккумулированы значительные объемы метана.

Дополнительный интригующий момент состоит в том, что природная метаносность достигает здесь максимума в интервалах угленосных отложений, соответствующих слабометаморфизованным антрацитам ($R_o = 2,5 - 3,0 \%$), в то время как максимум генерации термогенного метана приходится на марки угля К, ОС и частично Т ($R_o = 1,2 - 2,1 \%$). Отмеченные выше особенности присутствия и локализации газовых скоплений могут быть объяснены рассмотренным выше эффектом формирования области локального растяжения и трещиноватости в подошвенных частях синклиналей в режиме продольного сжатия. Распространяясь от нейтральной поверхности в направлении внутренних частей складки, то есть вглубь синклинали, область локального растяжения создает дефицит пластового давления. Вследствие этого образовавшиеся на верхних горизонтах газы мигрируют и занимают гипсометрически пониженное положение. Таким обра-

зом, горючие газы, представленные доинверсионным, практически чистым, метаном высокотемпературного генезиса, сохранились в этом районе исключительно благодаря особым нетрадиционным ловушкам синклинального типа, которые практически "заперли" метан и предотвратили его дальнейшую эвакуацию. Высокая степень сохранности метана указывает также на временную близость инверсии и основной фазы складкообразования, а также может являться свидетельством относительно "слабой" интенсивности последующих тектонических событий.

После позднегерцинской тектонической инверсии и формирования основных складок и разрывов геологическая история развития Донецкого бассейна происходила в поле влияния тектонических импульсов фаз киммерийского и альпийского циклов [4]. Отдельные элементы герцинского складчатого Донбасса испытали транспрессионное и синкомпрессионное обновление и дальнейшую депланацию слоеобразующих поверхностей, возникли новые наложенные кулисообразные складки, которые затронули преимущественно верхние горизонты. Однако такого рода эффекты носили локальный характер и не внесли принципиальных изменений в рисунок структур герцинского возраста - складок общедонецкого простирания. С точки зрения дальнейшей эволюции газоносности в бассейне представляют интерес следующие моменты: 1) эпизод вторичной, наложенной на герцинский план, инверсии в раннем мелу, который затронул юго-восточную периферию бассейна, где подъем южного крыла Манычского разрыва привел к денудации до 7 км отложений карбона; 2) временной ряд вариаций напряженного состояния (от условий растяжения до сжатия) для ряда локальных секторов, выделенных в работах [4]; 3) влияние неотектонического и современного поля напряжений.

Вторичная инверсия, будучи наложенной на результаты подъема территории бассейна на границе ранней и поздней перми, могла явиться причиной практически полной дегметанизации антрацитов согласно модели десорбции, рассмотренной выше, в районах прилегающих к Ростовскому блоку. Полное использование потенциала генерации УВ на предыдущих стадиях погружения бассейна привело к тому, что сорбционная ниша была заполнена углекислым газом. Теоретически, даже после дегазации термогенного метана здесь мог образоваться и сорбироваться метан вторичного биогенного происхождения. Однако, судя по фактическим результатам определения химического состава газов и формировании здесь углекислотной геохимической провинции, такой сценарий является маловероятным. Для окончательного решения вопроса необходимо изучение состава органических молекул (биомаркеров).

При интерпретации данных о влиянии напряженного состояния, в том числе и современного, на сохранность газа в угленосной толще исходим из того, что условия локального сжатия благоприятствуют консервации газов, в то время как условия локального растяжения провоцируют разгрузку газов в вышележащие горизонты и вызывают увеличение глубин зон газового выветривания. Модель тектонической эволюции Донбасса,

рассмотренная в работе [4], определяет группу секторов, в пределах которых в результате вращения блоков и присдвиговых деформаций периодически возникали условия локального сжатия, чередующиеся с условиями локального растяжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Привалов В.А., Саксенхофер Р., Жикаляк Н.В., Писковой М.А., Панова Е.А. Тепловые потоки в геологической истории Донбасса: результаты моделирования // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна, 2001. -Вип. 32. - С. 14-21.
2. Брод И.О., Еременко Н.А. Основы геологии нефти и газа. - М.: Изд. МГУ, 1950. - 246 с.
3. Забигаило В.Е., Широков А.З. Проблемы геологии газов угольных месторождений. - Киев: Наук. думка, 1972. - 172 с.
4. Привалов В.А., Панова Е.А., Азаров Н.Я. Тектонические фазы в Донецком бассейне: пространственно-временная локализация и характер проявления // Геологія і геохімія горючих копалин, 1998.- №4. -С. 11-18.
5. Sibson R.H. Crustal stress, faulting and fluid flow // Extended abstracts of International Conference on fluid evolution, migration and interaction in rocks - Torquay, England, 1997. - P. 137 - 139.
6. Панова Е.А., Привалов В.А. Влияние тектонического поля напряжений на геодинамическую активность и газообильность горных выработок: результаты моделирования // Горное давление, 2001. -№ 6. - С. 28-45.

УДК 622.831.325.3:579

В.И. Мякенький, В.Б. Демченко, А.П. Петух,
Институт геотехнической механики НАН Украины,
г. Днепропетровск

ОКИСЛЕНИЕ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ШАХТ БАКТЕРИЯМИ

Наведено результати шахтних досліджень з використання бактерій для зниження багатогазності виймальних дільниць вугільних шахт Дон-басу. Встановлено, що використання метанокислюючих бактерій дозволяє суттєво знизити багатогазність виробленого простору лав і концентрації метану в тупиках виробок, що погашаються.

THE OXIDATION OF THE COAL MINE METHANE BY BACTERIA

The results of the research in the mines as regard to applying bacteria for the reduction of the gas content in extraction sites of coal mines of Donbas are presented. It was determined that the applying of the oxidizing-methane bacteria