

Д-р геол. - минерал. наук В. А. Корчемагин,  
д-р геол. - минерал. наук В. И. Алехин,  
канд. геол. наук И. О. Павлов  
(ДонНТУ)

## **СТРУКТУРНО-ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ГАЗОНОСНОСТИ И ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОЛЯХ ШАХТ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОГО РАЙОНА**

В вугленосній товщі Донецько-Макиївського району основні об'єми вільного метану контролюються структурами тангенціального стиску (складками повздожнього вигину, флексурами, зсувними і «kink»-зонами), в утворенні яких велику роль відігравали міжслойові рухи. Пошуки промислових скупчень газу на площі району у такому випадку зводяться до пошуків подібних структурних та структурно-тектонічних пасток.

## **THE STRUKTURE AND TEKTONS PHYSICS OF RESEARCH FOR FORECAST OF GAS-CONTAIN AND MINING--GEOLOGICAL ON THE FIELDS OF MINES OF DONECH-MAKEEVSKY DISTRICT**

Free methane main volumes in Donetsk-Makeevka region coal-bearing series are controlled by tangential compression structures such as buckle folds, flexures, placement and kink-zones. Interstratal movements played large part in genesis of these ones. Methane commercial reserves prospecting on this area will consist in such structural and structural-tectonic traps searching.

**Актуальность проблемы.** Одной из основных проблем при разработке угольных месторождений является содержащийся в угленосных отложениях метан. Повышенное содержание метана при подземной разработке угольных пластов имеет одновременно негативный и позитивный аспекты.

Негативное влияние выделений метана наиболее наглядно, особенно в свете последних крупных аварий на угледобывающих предприятий Украины и мира. Повышенное метановыделение ухудшает условия безопасности горных работ. Возникает опасность взрывов метановоздушной смеси. Это вызывает рост потребностей в свежем воздухе для проветривания, что в свою очередь обуславливает увеличение скорости движения воздуха, рост его запылённости и существенно повышает затраты электроэнергии на вентиляцию. Выделение больших объёмов метана в шахтах уменьшает скорость подвигания подготовительных и очистных забоев, что ограничивает эффективность применения прогрессивной технологии и новой техники и существенно ухудшает технико-экономические показатели работы шахт.

В тоже время, высокогазонасыщенные угольные пласты и породы угленосной толщи могут служить источниками добычи углеводородных газов с последующим использованием их в качестве теплоэнергоносителя. Относительно высокие цены на энергоносители (прежде всего углеводороды) побуждают искать новые, нетрадиционные их источники. А ресурсы метана в угольных пластах в пересчёте на условное топливо занимают по разным оценкам третье-четвертое место среди запасов горючих ископаемых после угля, нефти и природного газа [1]. В настоящее время уже существуют техника и

технологии, позволяющие экономически эффективно добывать и использовать газ угольных месторождений. Например, США в последние десятилетия наращивают добычу метана из угленосных отложений и т.н. «сланцевого газа». В настоящее время она составляет не менее 10 % от общей добычи природного газа в этой стране. Общие ресурсы метана в угольных пластах месторождений США оцениваются в 11-22 трлн. м<sup>3</sup>, промышленные – 5-7,3 трлн. м<sup>3</sup>. По оценкам специалистов «Газпрома» прогнозные ресурсы метана основных угольных бассейнов России составляют 83,7 трлн. м<sup>3</sup> (например, для Кузбасса – 13,1 трлн. м<sup>3</sup>), что составляет не менее трети прогнозных ресурсов природного газа в России.

В свете этого многие угольные месторождения Донбасса начинают рассматриваться как комплексные, газово-угольные. Для них определяются ресурсы и подсчитываются запасы газа. Например, в угольных пластах и прослойках лишь одного Донецко-Макеевского района по разным оценкам содержится от 120 до 200 млрд. м<sup>3</sup> метана [2, 3]. Ресурсы же всей угленосной толщи ещё выше. Таким образом, по своим ресурсам район может рассматриваться как крупное газовое месторождение.

Первичная газоносность каменноугольных отложений, прежде всего, обусловлена угленасыщенностью района и степенью метаморфизма углей. Современное же распределение газов в бассейне связано с особенностями геологического развития бассейна, глубиной залегания угленосных отложений, тектоническим строением, литолого-фациальным составом вмещающих пород и покровных отложений, условиями циркуляции подземных вод и др.

Основные объёмы газа, которые могут представлять промышленный интерес, концентрируются в пластах-коллекторах. Таковыми в угленосной толще обычно являются угольные пласты и песчаники. Содержащийся в них газ, может находиться в свободном и сорбированном органическим веществом состоянии. В углях газ находится преимущественно в сорбированном состоянии. Количество свободного газа в порах и трещинах углей не превышает 20-35% общей их газоносности. В породах, напротив, практически весь газ находится в свободном состоянии.

Определения величин абсолютной, открытой и эффективной пористости, газопроницаемости пород, проведенные в различных районах Донбасса, показали, что они обладают низкой открытой пористостью от 3,0 до 10,8 % (для песчаников) [4] и практически газонепроницаемы (газопроницаемость изменяется от 0 до нескольких мД) [4, 5]. По этим показателям они относятся низкопроницаемым коллекторам, либо промышленными коллекторами не являются. В тоже время в углях и породах региона неоднократно фиксировались значительные скопления свободного газа, которые проявлялись в виде мощных выбросов, суфляров или газопроявлений из разведочных скважин. Отмеченная низкая пористость и проницаемость свидетельствуют о том, что роль гранулярных коллекторов в размещении этого газа незначительна и свободный газ в толще находится в основном в трещинах

различного генезиса. Массовое развитие трещин, в свою очередь, возможно лишь в зонах различных тектонических дислокаций (пликативных и дизъюнктивных). Так, например, аномальные значения открытой пористости (от 10,5 до 18-28 %) и повышенная газоносность пород (6,1-9,8 м<sup>3</sup>/т) на шх. им. А. Ф. Засядько [5] были зафиксированы в зонах интенсивной трещиноватости, которые приурочены к пликративным или дизъюнктивным тектоническим нарушениям.

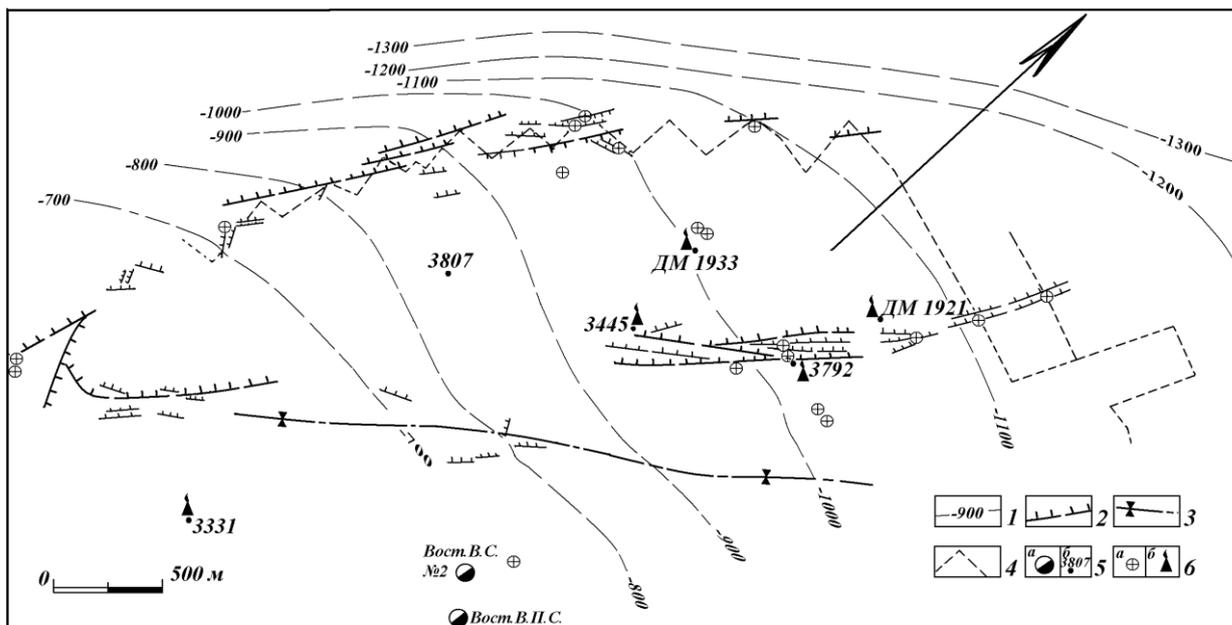
В целом, для всего Донецко-Макеевского района намечается отчётливый структурный контроль скоплений газа. На региональном уровне они приурочены к имеющимся здесь крупным пликративным дислокациям (основным складкам, флексурам), которые можно рассматривать, как структурные ловушки мезорегионального уровня. Высокая газонасыщенность угленосных отложений в зонах этих структур, проявила себя серией свободных газовыделений из разведочных скважин, многочисленными выбросами, суфлярами и загазированием горных выработок. Особенно отчетливо подобная связь проявляется в зонах основных флексур – Ветковской, Чайкинской, Калиновской и Ясиновско-Ждановской. В пределах региональных структур газовыделения носят очаговый характер и обычно приурочены к локальным деформационным элементам горного массива (мелким складкам и мелкоамплитудным разрывам), т.е. структурно-тектоническим ловушкам. Как было установлено ранее при структурно-тектонифизических исследованиях в юго-восточной части Донецко-Макеевского района, основная масса газодинамических явлений (и, соответственно, свободного газа) здесь связана со сдвиговыми зонами и компенсационными дислокациями в их крыльях [6]. В современной геологической структуре эти зоны обычно проявляются как «тектонополосы» (зоны скалывания) [7]. Морфологически - это сравнительно узкие (ширина десятки метров) крутопадающие или вертикальные плитообразные объёмы горного массива, насыщенные трещинно-разрывными структурами различного структурного уровня и преимущественно сдвиговой кинематики. Горными работами они прослежены на километры по простиранию и сотни метров по падению. В крыльях многих из них развиты вторичные деформации (компенсационные структуры) компенсирующие сдвиговую подвижку по основной зоне.

Севернее, где расположены основные пликративные дислокации Донецко-Макеевского района (прежде всего региональные флексуры), горными работами зафиксированы лишь единичные сдвиговые зоны. Роль структурно-тектонических ловушек для скоплений свободного газа здесь играют иные структуры. В качестве примера можно рассмотреть поле шахты им. А. Ф. Засядько.

С запада поле шахты им. А. Ф. Засядько ограничивает Ветковская флексура. Простирание флексуры северо-восточное - аз. пр. 40°, осевая плоскость погружается на юго-восток под углом ~55-60°. Опущено западное крыло,

амплитуда нарушения достигает 500 м. Углы падения пород в зоне флексуры увеличиваются до 60-70°.

Основная масса зафиксированных здесь газодинамических явлений и газопроявлений сосредоточена преимущественно на западном фланге шахтного поля, в полосе, прилегающей к Ветковской флексуры. Пространственно они, как правило, приурочены к зонам малоамплитудных тектонических нарушений (рис. 1).



1 – изогипсы пласта; 2 – тектонические разрывы; 3 – ось синклинали складки; 4 – контур горных работ; 5 – стволы шахты (а) и разведочные скважины (б); 6 – выбросы (а) и газопроявления в скважинах (б)

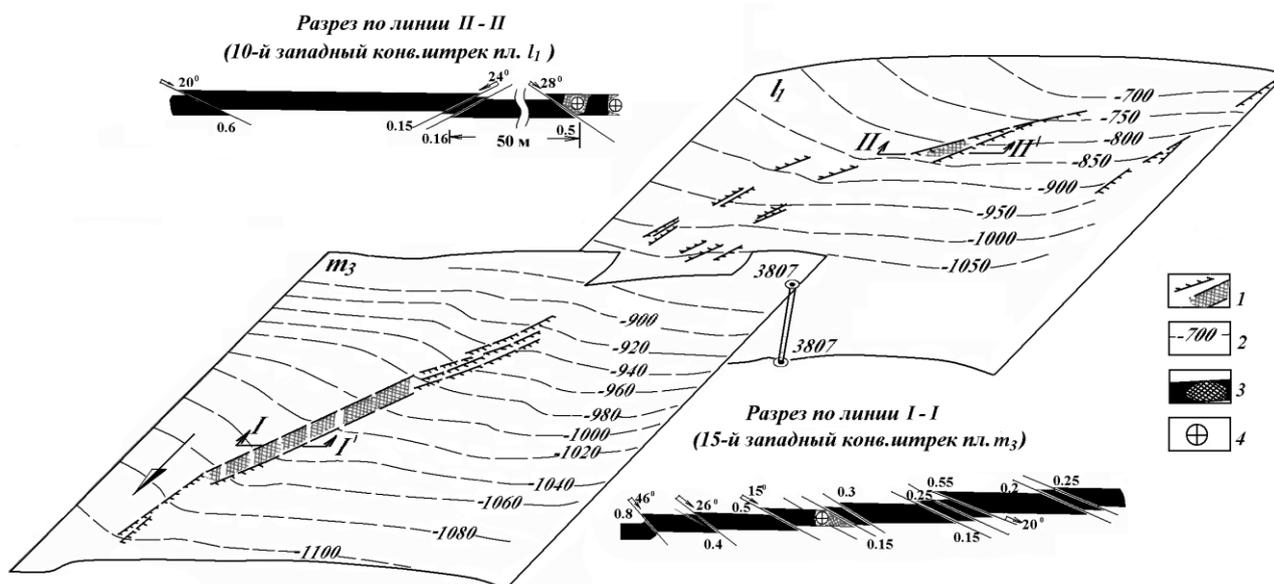
Рис. 1 – Газопроявления в разведочных скважинах и выбросы в горных выработках на поле шахты им. А. Ф. Засядько (выкопировка с плана горных работ по пл.  $m_3$ )

Как было установлено при документации горных выработок, морфологически и кинематически эти разрывы являются надвигами. Надвиги характеризуются незначительными амплитудами смещения (сантиметры – первые метры) и быстро затухают по простиранию и падению (часто на протяжении нескольких метров). Они по существу являются внутрислоевыми деформациями. Об этом свидетельствует и постепенное выполаживание плоскостей сместителей с удалением от угольного пласта. Плоскости надвигов в кровле и почве угольного пласта плавно переходят в сорванные плоскости напластования. При этом отмеченные по плоскостям напластования штрихи близки к линии падения сместителей, т.е. надвиги, являются производными межслоевых подвижек. Морфологически эти надвиги зачастую являются комбинированными образованиями, в которых разрыв сплошности претерпевает только кровля или почва пласта. На продолжении сместителя

разрыва у противоположного ограничения пласта отмечаются лишь коленообразные изгибы пород.

Еще одной характерной особенностью этих нарушений является кулисообразное размещение отдельных сместителей в пространстве, когда ряд быстро затухающих по простиранию разрывов группируется вдоль условной оси, составляя с ней определенный угол. Сместители отдельных разрывов, как правило, имеют северо-восточную ориентировку: аз. пад.  $310^\circ \angle 25^\circ$  и  $135^\circ \angle 22^\circ$  (преобладают разрывы, с северо-западным падением сместителя). В результате по простиранию нарушения в отдельных сечениях можно наблюдать 2 – 3 и более сместителей, сопровождающихся безамплитудными тектоническими трещинами и зеркалами скольжения. Сформированные таким образом зоны тектонической нарушенности, в отличие от составляющих их отдельных разрывов, прослеживаются горными работами на значительные расстояния (сотни метров – километры) по простиранию и на всю мощность отрабатываемого разреза – от пл.  $m_3$  до  $l_1$ . Ширина подобных зон достигает 100-150 м (рис. 2).

При анализе гипсометрии пластов было установлено, что эти зоны нарушенности контролируются складчатостью высоких порядков, а именно своеобразными флексурными изгибами. При затухании этих изгибов затухают и зоны тектонической нарушенности (рис. 2).



- 1 – тектонические разрывы и зоны мелкоамплитудной нарушенности;
- 2 – изогипсы пласта; на разрезах: 3 – участки препарированного угля; 4 – выбросы

Рис. 2 – Морфология зон тектонической нарушенности в плоскости пластов  $m_3$  и  $l_1$

Флексуры выражаются не столько в изменении углов падения, а преимущественно изменениями простирания пород. В результате в плане вырисовывается коленообразный изгиб толщи или своеобразная пологая

куполообразная складка («структурный нос»), у которой имеется только одно (ниже по падению) замыкание.

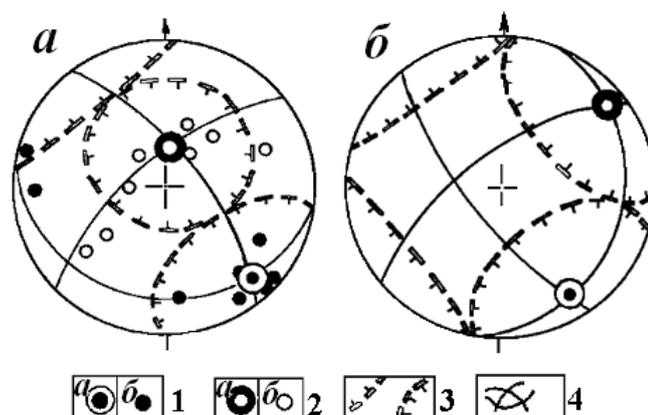
В пределах шахтного поля описанные зоны расположены лишь в западной его части в приподнятом крыле Ветковской флексуры. Здесь выделяется от 2-х до 3-х подобных структур (рис. 3). Их простирание северо-восточное (аз. пр. 45-55°). В пространстве эти зоны так же, как и составляющие их разрывы, формируют правый кулисообразный ряд вдоль пологой куполовидной складки в крыле флексуры. Отдельные зоны-кулисы отходят от флексуры в северо-восточном направлении, образуя с осью флексуры угол до 10-15°. Каждая из этих зон затухает по простиранию в северо-восточном направлении. Иногда на затухании простирание разрывов или самой зоны отклоняется к меридиану. В каждом нижележащем пласте из-за наклона осевой плоскости Ветковской флексуры весь структурный парагенезис деформационных элементов, в том числе и зоны нарушенности смещаются к юго-востоку.

В горных выработках шахты были выполнены замеры сколовой трещиноватости с элементами кинематики, что позволило восстановить параметры поля палеотектонических напряжений. Восстановленное поле мезорегионального уровня (т.е. действовавшее в объёме горного массива соизмеримом с шахтным полем) – надвигового типа и характеризуется следующими параметрами: ось растяжения  $\sigma_1$  субвертикальна – аз. пад. 180°∠70°, ось сжатия  $\sigma_3$  субгоризонтальна – аз. пад. 320°∠15° (рис. 3). Полученная ориентировка оси максимального сжатия  $\sigma_3$  совпадает с реконструкциями самого молодого для Донецко-Макеевского региона и Донбасса в целом альпийского поля тектонических напряжений (аз. пад. 320-330°) [6, 8]. Есть все основания предполагать, что и современное поле тектонических напряжений характеризуется такой же направленностью осей главных нормальных напряжений и симметричные ему деформации являются самыми молодыми тектоническими деформациями горного массива.

Ось сжатия  $\sigma_3$  реконструированного поля ортогональна системам встречнопадающих северо-восточных надвигов и сформированным ими зонам тектонической нарушенности, т.е., полученное поле симметрично деформационным элементам горного массива. Симметричность восстановленного поля и деформационных элементов указывает на их генетическое родство. Можно утверждать, что эти дислокации являются производными восстановленного поля напряжений.

С учётом ориентировки осей главных нормальных напряжений и морфологии вышеописанных зон их можно интерпретировать, как зоны изгиба-излома или «kink»-зоны. Экспериментально установлено, что «kink»-зоны образуются тогда, когда направление сжатия действует под углом  $\alpha=0-15^\circ$  к слоистости. Генетически – это зоны повышенных касательных напряжений, проявляющиеся не в виде сопряженной пары сколовых разрывов, а в виде пластических деформаций. Осевые плоскости изгибов, ограничивающих «kink»-зоны, совпадают с одной из систем плоскостей максимальных

касательных напряжений. В процессе образования «kink»-зоны осуществляется скольжение по плоскостям слоистости во встречных направлениях. Эти плоскости отвечают другой системе плоскостей  $\tau_{\max}$  (рис. 4).



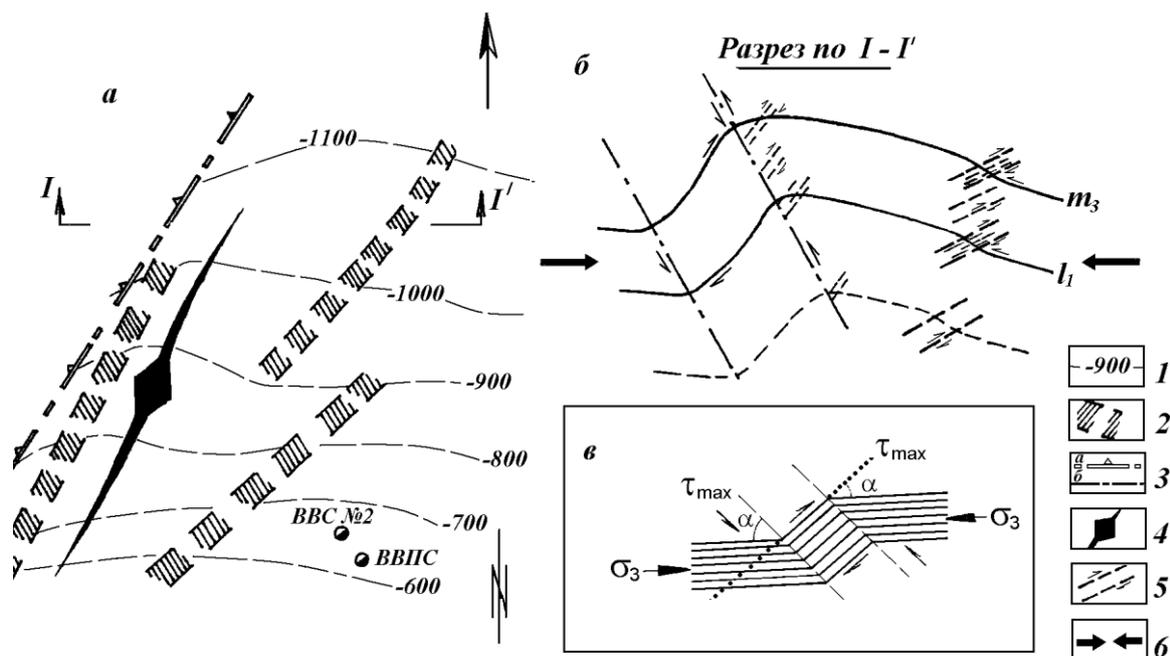
1 – оси сжатия  $\sigma_3$ : мезорегионального (а) и локального уровня (б); 2 – оси растяжения  $\sigma_1$ : мезорегионального (а) и локального (б) уровня; 3 – конические поверхности, ограничивающие области развития областей одного знака; 4 – плоскости действия главных нормальных напряжений

Рис. 3 – Реконструкции тектонических полей напряжений: а – поле шахты им. А. Ф. Засядько; б – Донецко-Макеевский район [6]

К подобному же типу структур можно отнести и саму Ветковскую флексуру (по-видимому, и все остальные главные флексуры района). Генетически это тоже «kink»-зоны, но значительно более высокого структурного уровня. Указанные зоны изгиба-излома, также как и сдвиги являются структурами тангенциального сжатия, т.е., образованы активными тектоническими усилиями, действовавшими в близгоризонтальной плоскости. Поскольку сжатие ориентировано ортогонально этим структурам, они должны характеризоваться минимальной проницаемостью. В тоже время, как отмечалось выше, для них установлены повышенные концентрации свободного газа, их фактически можно считать структурными и структурно-тектоническими ловушками. Объяснение подобной ситуации, по-видимому, следует искать в механизме их образования.

Общим в механизме образования сдвиговых и «kink»-зон является перемещение под воздействием активных тектонических усилий блоков в близгоризонтальной плоскости, что в слоистой толще неизбежно приводит к межслоевым срывам и проскальзыванию по плоскостям напластования. Эти подвижки охватывают значительные, по сравнению с самими зонами, прилегающие к ним площади и объёмы горного массива. В пластах и плитообразных блоках пород, ограниченных субпараллельными плоскостями послойных смещений, происходит активизация всего комплекса первичных

(нормальносекущих) трещин, которые генетически являются отрывами, и образование дополнительных систем тектонических сколов. Сами полости межпластовых срывов могут служить каналами для циркулирующих флюидов, в т.ч. метана. На отдельных участках может происходить разрушение (вплоть до порошкообразного состояния) заключенных в терригенной толще угольных пластов с высвобождением сорбированного в них метана. В результате значительно повышается трещиноватость пород (а, следовательно, их коллекторные свойства) и количество содержащегося в них свободного газа.



1 – изогипсы пласта; 2 – контур зон тектонической нарушенности; 3 – осевые плоскости флексуры: на плане (а) и на разрезе (б); 4 – ось антиклинали; 5 – тектонические нарушения и направления подвижки по ним; 6 – ориентировка максимального тектонического сжатия

Рис. 4 – Общая структурная позиция зон тектонической нарушенности в западной части поля шахты. им. А. Ф. Засядько (структурный план (в плоскости пласта  $m_3$ ), схематический геологический разрез (а, б) и распределение напряжений при образовании «kink»-зоны (в))

Кроме сдвигов и флексур («kink»-зон) интенсивные межслоевые подвижки сопровождают образование и складок продольного изгиба. Поэтому все эти пликативные и дизъюнктивные дислокации можно рассматривать, как потенциальные ловушки свободного газа. По-видимому, наиболее благоприятные условия возникают при сочетании в каком-либо объёме этих дислокаций со структурно-литологическими ловушками. К таковым могут относиться ловушки связанные как с мощными пластами песчаников, так и с песчаниками относительно небольшой и невыдержанной мощности, особенно в случае их выклинивания по восстанию пород. При этом наиболее благоприятны горизонты с зафиксированной повышенной природной газоносностью.

Дополнительными критериями при определении перспективности той или иной структуры могут служить тектонофизические показатели, например, такие как коэффициенты  $\mu_{\sigma}$  и  $\mu_{\epsilon}$ , которые характеризуют вид напряженного состояния горного массива. Имеющиеся материалы свидетельствуют, что скопления свободного газа фиксируются в объёмах с отрицательными значениями этих коэффициентов, т.е., характеризующихся условиями растяжения на фоне регионального сжатия.

Суммируя всё вышеизложенное, можно отметить, что геологические структуры, механизм их формирования и, как следствие, степень их тектонической нарушенности – главные факторы, определяющие современную повышенную газонасыщенность угленосной толщи.

Таким образом, наибольший интерес при поисках промышленных скоплений метана представляют структурные и структурно-тектонические ловушки. На стадии прогноза подобных ловушек существенную помощь могут оказать структурно-тектонофизические методы исследований, которые позволяют реконструировать параметры тектонических полей напряжений и восстановить механизм формирования деформационных элементов горного массива. Для выделения в пределах этих структур локальных перспективных объектов могут быть использованы некоторые тектонофизические параметры (например, значения коэффициентов  $\mu_{\sigma}$  и  $\mu_{\epsilon}$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы метана угольных бассейнов и месторождений США / Р. А. Галазов, О. А. Куш, А. Т. Айруни, А. М. Брижанёв. – М. : ЦНИЭИуголь, 1991 – 56 с.
2. Газоносность угольных месторождений Донбасса / Анциферов А. В. [и др.]. – К. : Наукова думка, 2004 – 232 с.
3. Брижанёв А. М. Закономерности размещения метана в Донецком бассейне / А. М. Брижанёв, Р. А. Галазов. – М. : ЦНИЭИуголь, 1987 – 49 с.
4. Забигайло В. Е. Проблемы геологии газов угольных месторождений / В. Е. Забигайло, А. З. Широков. – К. : Наукова Думка, 1972. – 172 с.
5. Павленко О. Е. Геологический отчет о переоценке запасов каменных углей в западной части «Кальмиусского Рудника» - блока лицензирования для шах. им. А. Ф.Засядько. – Артёмовск, Щегловская ГРЭ, 1997.
6. Павлов И. О. Сдвиги и сдвиговые зоны Донецко-Макеевского района / И. О. Павлов, Н. С. Бурлуцкий // Уголь Украины. – 2003. – № 7. – С. 37 – 39.
7. Попов В. С. Мелкоамплитудные разрывные нарушения в угольных пластах Донецко-Макеевского геолого-промышленного района Донбасса / В. С. Попов // Геологический журнал. – 1979. – № 6. – С. 19 – 31.
8. Корчемагин В. А. Особенности развития тектонической структуры и поля напряжений Донбасса и Восточного Приазовья / В. А. Корчемагин, В. С. Емец // Геотектоника. – 1987. – № 3. – С. 49 – 55.