

Безручко К., доктор геологических наук,
 Пимоненко Л., доктор геологических наук
 (Институт геотехнической механики имени Н. С. Полякова НАН Украины),
 Кузнецова Л., главный геолог
 (ООО «Недра Луганщины»)

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ, ЕЕ ПРИРОДА И ПРОГНОЗ В УСЛОВИЯХ ДОНЕЦКОГО МЕТАНОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

ТРИЩИНУВАТІСТЬ, ЇЇ ПРИРОДА І ПРОГНОЗ В УМОВАХ ДОНЕЦЬКОГО МЕТАНОВУГІЛЬНОГО РОДОВИЩА

Розглянуто умови утворення ділянок підвищеної тріщинуватості в межах складчастих дислокацій Донбасу та можливості їх виділення шляхом побудови і аналізу карт локальних структур (1-го порядку) і карт градієнтів локальних структур. Розглянуто умови формування колекторських властивостей гірських порід по відношенню до локальних антиклінальних структур, які, будучи елементом вторинної складчастості, ускладнюють моноклінальне залягання гірських порід.

CLEAVAGE, ITS NATURE AND FORECASTS WITHIN DONETS COALBED METHANE FIELD

This article observes conditions for occurrence of excessive cleavage areas within infolded perturbations of Donets Basin, their identification by mapping and analyzing the local structures (major) and by gradient maps. The article is also a review of conditions for forming of reservoir rock properties against the local anticlinal structures, which, being a part of the secondary folding, complicate the monoclinical bedding.

Ключові слова: тріщинуватість, структура, колектор, метан, карта.

Ключевые слова: трещиноватость, структура, коллектор, метан, карта.

Keywords: cleavage, structure, reservoir, methane, map.

Метаноносность угленосных отложений Донбаса колеблется в широких пределах в зависимости от геологических условий накопления, преобразования и сохранения газов. Одним из важнейших факторов, влияющих на сохранение и миграцию газов в угленосных отложениях, является трещиноватость. Изучение трещиноватости газоносных пластов требует исследования зависимости процесса трещинообразования от геологических процессов, которые происходили на различных этапах формирования бассейна и обусловили особенности механизмов образования, а также параметры трещин в каждой структуре бассейна. Эти различия определяют особенности добычи и утилизации метана и должны быть изучены на первом этапе исследований.

Трещиноватость может быть обусловлена различными процессами: складкообразованием, сопровождающимся образованием разломов и обособлением отдельных блоков, скоростями диагенеза и литификации осадков. В принципе, геологические условия трещинообразования – это взаимосвязь механики горных пород (физико-механические характеристики пород и их изменение в результате образования трещин) и геологических процессов (формирование дислоцированности). Для создания обоснованной геологической модели трещинного коллектора не-

обходимо детально рассмотреть процесс трещинообразования в различных геологических условиях. Полученные результаты будут представлять интерес для прогноза и детализации условий трещинообразования в различных районах Донбасса.

Модели процесса трещинообразования были предложены Киблье и Рамстадом [4]. Главной целью модели, предложенной Киблье, был поиск областей наибольшей густоты трещин или наибольшей вероятности трещинообразования путем расчета ряда карт равной вероятности развития трещин. Основная идея заключается в том, что тектонические напряжения в пласте можно рассчитать, используя современную (известную) форму различных слоев и полагая, что первоначально они были плоскими. Суммарные напряжения складываются из тектонических напряжений и нагрузки вышележащих пород (горного давления). По этим суммарным напряжениям и критерию разрушения определяются густота и распределение трещин. С помощью такого метода был рассчитан критический модуль упругости в каждой точке и оценена достаточность его величины.

Модель Рамстада сохраняет основную идею Киблье – задание известных смещений пород, но метод моделирования в этом случае другой. Рамстад использовал метод конечных элементов в условиях

закона линейности для упругих и упруго-вязко-пластичных материалов.

Муреем [4] для девонских отложений месторождения Антилоп (Северная Дакота) был разработан метод анализа продуктивности коллектора как функции трещинной зоны. С помощью разработанного для этого случая теоретического метода он установил зависимость трещиноватости, пустотности и проницаемости от толщины пласта и кривизны структурных образований.

Для Донецкого угольного бассейна разработка непосредственно методов прогноза коллекторских свойств породного массива не проводилась, но для прогноза выбросоопасных зон были проведены работы [1], направленные на выделение нарушенных зон и базирующиеся на представлении о приуроченности газодинамических явлений к нарушенным, насыщенным газом, зонам. Возможность применения полученных ранее методов для прогноза коллекторских свойств породного массива рассмотрена в данной статье.

В результате теоретических и экспериментальных исследований [1] предложена наиболее полная морфогенетическая типизация малоамплитудных нарушений Донбасса и показано, что в условиях складчатого Донбасса преобладает тектоническая трещиноватость, связанная с образованием складок и разрывов. Исходя из этого, в основу геомеханической модели образования трещинных коллекторов в угленосных отложениях Донбасса положены работы М. В. Гзовского [3], В. Ярошевского [7], согласно которым, во-первых, процесс полной деформации состоит из трех стадий, каждая из которых предполагает определенное состояние массива: упругое (I), вязкое (пластичное) (II), хрупкое (III); во-вторых, с ростом величины напряжений происходит последовательное формирование дислокаций: от пластичных (складчатость) – к хрупким (разрывы), от микродислокаций – к крупноамплитудным нарушениям.

На каждой стадии происходит образование определенных типов дислокаций: складчатых нарушений – на пластичной стадии, разрывных – на упругой (взбросы, сбросы, сдвиги), вязкой (взбросы, надвиги и сдвиги с подворотами крыльев) и хрупкой (сдвиги) стадиях.

Рассматривая угленосную толщу, следует отметить, что, поскольку она является неоднородной, гетерогенной, необходимо говорить не о состоянии всего углепородного массива в целом, а рассматривать阶段性ность деформационных процессов отдельно для каждого пласта (слоя). Характер и масштаб этих процессов, происходящих в отдельных слоях, зависит от их физико-механических свойств и мощности.

Микродислокации и малоамплитудные разрывы, заложенные на упругой или вязкой стадиях одновременно со складками (соскладчатые), на протяжении дальнейшей деформации блока увеличиваются, сливаются и образуют сместители средне- и крупноамплитудных разрывных нарушений. Для разрывов такого типа характерно то, что их простирание совпадает с простиранием крупноамплитудных складок, образовавшихся под действием этих же напряжений.

На границе пластической и хрупкой стадий происходит образование разрывов «вязкого» типа. Так как массив еще сохраняет пластичность, то под действием сжимающих сил он вначале изгибается в складки, а затем разрывается. Для нарушений такого типа характерно наличие преднадвиговых подгибов и нарушенных участков, приуроченных к изогнутой части пласта.

С хрупкой стадией деформации массива связано формирование сместителей средне- и крупноамплитудных надвигов, а также большинства малоамплитудных разрывов хрупкого типа и нарушенных зон. На этой стадии возможно образование нарушенных зон, вызванных современным полем напряжений.

Очевидно, что перечисленные геометрические и геологические особенности расположения нарушенных зон в угленосных отложениях Донбасса предполагают определение генезиса нарушений и применение на основе полученных данных различных методов для их прогноза.

Рассмотрим возможности применения ранее разработанных методов для выделения различных по степени трещиноватости участков в пределах складчатых структур различного генезиса.

Складки поперечного изгиба могут образовываться за счет неравномерного проседания или подъема отдельных блоков фундамента во время (конседиментационные) или после (постседиментационные) накопления осадков. Для складок такого типа характерна приуроченность малоамплитудных разрывных нарушений и трещин к наиболее изогнутой части складки (границам блоков).

Наглядным примером такой модели формирования трещинных коллекторов является Ветковская флексура. Она имеет северо-восточное простирание; западное крыло крутое (до 60° – 70°), восточное – пологое, амплитуда – сотни метров, длина по простиранию – порядка 22–25 км. Складка осложнена Пантелеймоновским надвигом и его апофизами. Амплитуды нарушений по простиранию изменяются; они имеют сложную волнообразную форму, различную на всех рассмотренных пластах (n_1 , m_3 , l_1 , l_8 , k_8). Структура нарушений позволяет предположить возможность развития их из трещин и малоамплитудных разрывов, образовавшихся в различные периоды формирования блока с участием сдвиговой составляющей.

Образование флексуры, происходившее в условиях вертикального растяжения, привело к образованию в хрупких породах горизонтальных трещин и микродислокаций, которые способствовали созданию трещинных коллекторов. Поэтому в вертикальном разрезе (рис. 1) рассматриваемая структура представляет изогнутую толщу пород, в которой чередуются породы с различными физико-механическими свойствами: трещиноватые песчаники (потенциальные коллекторы), перекрытые пластами известняков и аргиллитов, а также сместителями надвигов (экраны). Сочетание таких условий предполагает существование целого ряда серий пород,

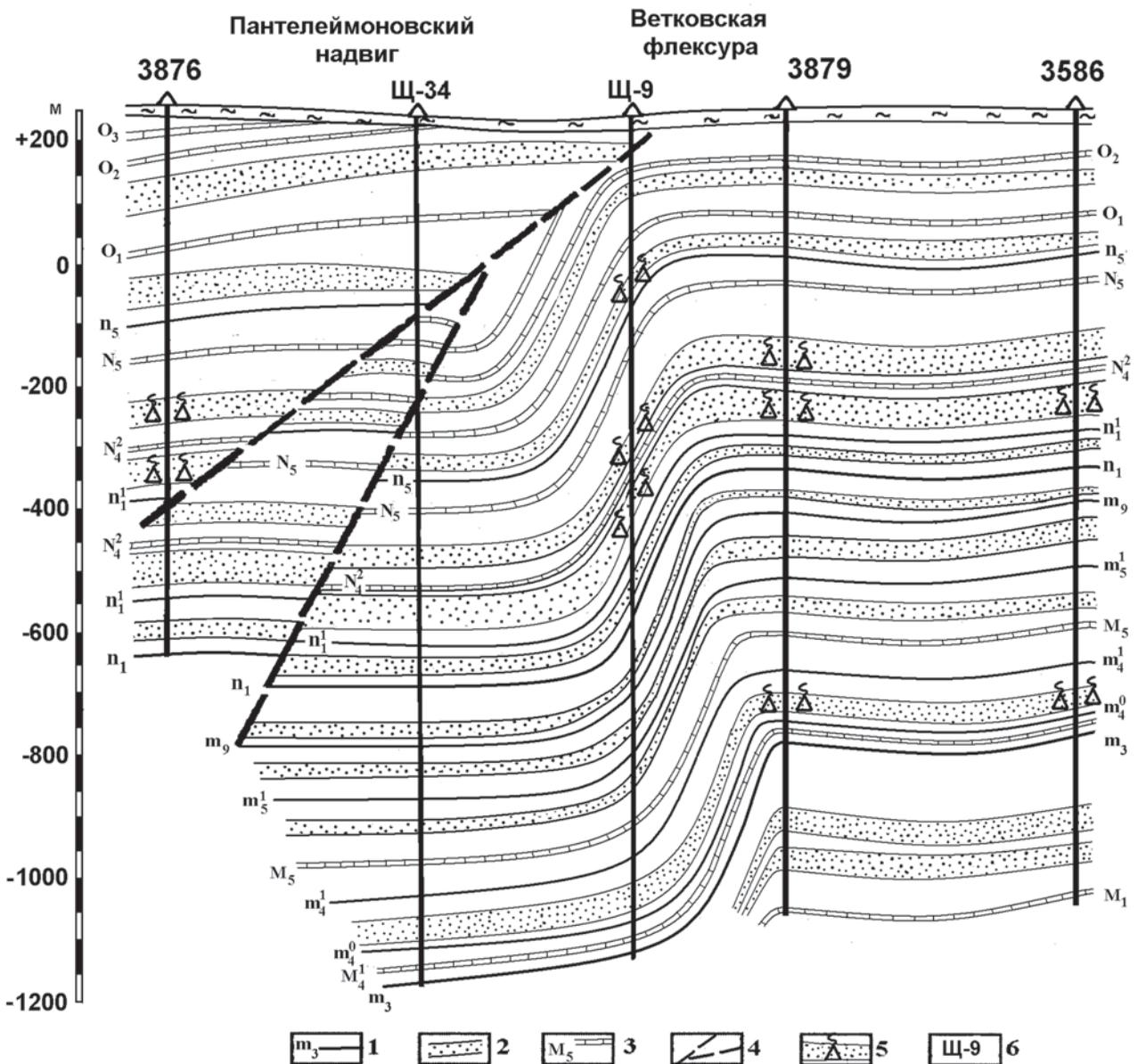


Рис. 1. Литолого-стратиграфический разрез по шахте им. Засядько и участку доразведки Кальмиусский рудник с газопроявлениями по скважинам: 1 – угольный пласт, 2 – песчаник, 3 – известняк, 4 – тектоническое нарушение, 5 – газопроявления в скважине, 6 – номер скважины

содержащих газ. Это подтверждается тем, что наиболее мощные суфляры и выбросы на шахте им. А. Ф. Засядько отмечены при приближении к Ветковской флекуре. Например, на участке Кальмиусский Глубокий – скважины № 3586 и № 3662. В скважине № 3586 наблюдалось газовыделение в течение 24 часов из песчаника, залегающего в кровле угольного пласта m_9 на глубине 1030,0 м. В скважине № 3662 газ выделялся из песчаника, приуроченного к верхней части свиты C_2^7 . Выделение сопровождалось выбросами воды и шлама. Высота выбросов достигала 18–20 м.

На рис. 1 представлен литолого-стратиграфический разрез по резервному участку доразведки «Кальмиусский рудник» на поле шахты им. А. Ф. Засядько с газо-

проявлениями в скважинах, которые отмечены в районе Ветковской флексуры (песчаники по скважинам Щ-9, 3879 и 3586 в интервале $m_4^0 - O_1$) и Пантелеймоновского надвига (песчаники в скважине 3876 в интервале $(n_1^1 - N_5)$).

Для выделения трещиноватых зон, связанных со складчатостью угольных пластов, целесообразно применять различные методы, позволяющие выявить локальные неоднородности гипсометрической поверхности исследуемых пластов [3, 4, 7]. Одним из наиболее распространенных вариантов математической обработки информации о тектонической форме пластов является тренд-анализ, который отражает строение исследуемого участка (локальные структуры).

Для угленосных отложений Донецкого бассейна в работе [1] рассмотрены условия формирования коллекторских свойств горных пород применительно к локальным антиклинальным структурам, которые, являясь элементом вторичной складчатости, осложняют моноκлиналинное залегание горных пород и выделяются по отклонению гипсометрии пласта от аппроксимирующей поверхности. По своему генезису это складки **продольного изгиба**, образовавшиеся под действием горизонтальных сжимающих усилий после накопления угленосной толщи. В этом случае нарушенные зоны приурочены либо к периклинальным частям сильно изогнутых складок (например, Главная антиκлиналь Донбасса), либо к крыльям малоамплитудных («локальных») структур. Интенсивность трещиноватости зависит от величины изгиба складки (т.е. параметров складки – амплитуды, длины и ширины структуры), физико-механических свойств сминаемой толщи и мощности пластов.

Анализ построенных карт реальных локальных структур 1-го порядка для 2–3 шахтопластов в различных геолого-промышленных районах Донбасса свидетельствует, что коэффициент изгиба (отношение амплитуды структуры к ее ширине), который характеризует степень кривизны складки, варьирует в пределах от 0,009 до 0,035 (табл. 1).

Приняв этот диапазон изменений коэффициента изгиба локальных структур, определяем возможные

значения относительных линейных деформаций различных по мощности пластов (рис. 2).

Расчеты выполнялись по следующей формуле:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{8mh}{l^2}\right)^{-1},$$

где ε – коэффициент относительной линейной деформации пласта;

m – мощность пласта или его отдельного слоя;

h – амплитуда складки;

l – ширина складки.

Поскольку наиболее значимой с точки зрения определения величин деформаций является непосредственно сводовая часть локальной складки, а шаг между изолиниями равных значений при построении карт локальных структур обоснованно принимается составляющим 10 м [5], амплитуда складки в сводовой части не превышает этой величины (10 м). Именно это значение принято при расчетах в качестве максимального.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что значения относительных линейных деформаций существенно зависят от мощности пласта. Действительно, чем больше мощность пласта, тем значительнее различие деформаций растяжения, которые испытывают слои его кровли и почвы.

Таблица 1. Характеристика вторичной складчатости по картам локальных структур в Донбассе

Шахтное поле	Индекс пласта	Коэффициент изгиба (кривизны) складки
Петровский блок	h_7	0,026
им. М. И. Калинина	h_8	0,017
	h_{10}	0,017
«Заперевальная» и им. газеты «Социалистический Донбасс»	h_8	0,015
	h_{10}	0,016
Мушкетовская-Вертикальная»	h_7	0,009
«Глубокая»	h_7	0,017
	h_{10}	0,024
«Восточная»	h_8	0,028
	h_{10}	0,023
им. К. И. Поченкова	k_8	0,025
им. А. Г. Батова	l_1	0,025
	k_8	0,017
«Коммунист»	g_2	0,013
им. XVII партсъезда	k_2	0,012
им. 1 Мая	k_5	0,010
им. А. А. Скочинского	h_7	0,010
	h_7	0,013
	h_7	0,035
	h_7	0,013
им. А. Ф. Засядько	m_3	0,020
им. В. М. Бажанова	m_3	0,011
«Бутовская»	n_1	0,027

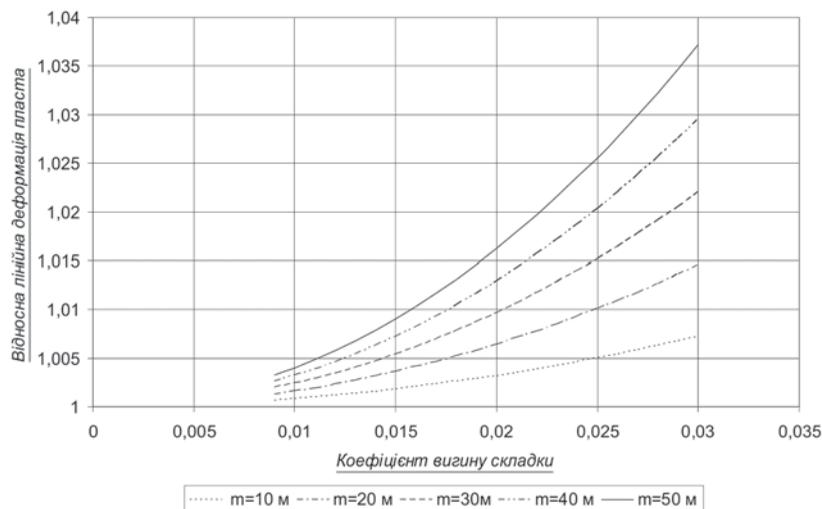


Рис. 2. Залежність відносних лінійних деформацій різних по потужності пластів від ступеня вигину локальної структури амплитудой 10 м (m – потужність пласта)

Потужність пласта може складати перші десятки метрів, і лише в окремих випадках – до 70–90 м. Амплітуда складки в сводовій частині, як відзначалося вище, не перевищує 10 метрів. На рис. 3 наведено графік залежності відносних лінійних деформацій від співвідношення «товщина пласта / амплітуда складки», побудований для структур різної ступені вигину (середній коефіцієнт вигину прийнято рівним 0,01–0,02).

Виходячи з можливих значень прийнятих параметрів, а саме: потужності пластів і характеристик реальних структур, співвідношення «потужність пласта / амплітуда складки» не перевищує 10, при цьому значення відносних лінійних деформацій локальних складчатих структур в природному горному масиві можуть скласти 1,003–1,040.

Считаючи, що потужність одного окремого пласта не піддається змінам в процесі смяття в складку по порівнянню з його лінійними розмірами в плані (відносна лінійна деформація по вертикальній осі дорівнює 1), об'ємне розуплотнення по фізичному значенню представляє собою добуток коефіцієнтів відносних деформацій розтягнення пласта або окремих його шарів по довжині і ширині структури.

Виходячи з отриманих значень відносних лінійних деформацій, коефіцієнт об'ємного розуплотнення може скласти від 1,007 до 1,080, що в свою чергу може спричинити збільшення коефіцієнта абсолютної пористості на 0,8–7,0%. Оскільки багатьма дослідженнями встановлено, що для угленосних відкладень Донецького басейну [2] відкрита пористість звичайно складає, в залежності від ступеня постдіагенетических змін, 0,6–0,8 величини абсолютної (загальної) пористості, можна сказати про те, що значення коефіцієнта відкритої пористості за рахунок розуплотнення порід з часом формування локальної складчастої структури може зрости на 0,5–6,5%.

Особливо слід відзначити, що приріст пористості при розуплотненні практично не залежить від значення початкової пористості, а визначається переважно параметрами складки і потужністю пласта.

Параметром, також відображаючим кривизну складок, є градієнт. Градієнт $\text{grad } Z_i$ – векторна величина, що характеризує швидкість зміни геологічного признака по напрямку між досліджуваними скважинами:

$$\text{grad } Z_i = \left| \frac{\Delta Z}{S} \right|,$$

де i – номери точок розрахунку (скважин);

ΔZ – різниця величин геологічного признака (в даному випадку локальних структур) для двох аналізованих скважин;

S – довжина вектора на площині.

Останній показник (довжина вектора на площині) визначається за формулою:

$$S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2},$$

де Δx , Δy – відповідно різниці координат X і Y розглянутих точок.

По даним розрахунків, кожна скважина характеризується набором векторів, вибір максимального і віднесення його значення до середини дозволяє отримати поле точок максимальних градієнтів досліджуваного признака. Характер зміни максимального градієнта по площині може бути виражений в формі ізоліній в вигляді відповідних карт.

Розглянемо генезис порушеності на прикладі шахти ім. 50-ліття СРСР, розташованої в Краснодонському геолого-промисловому районі. Пошуково-оціночними роботами на Первозванській перспек-

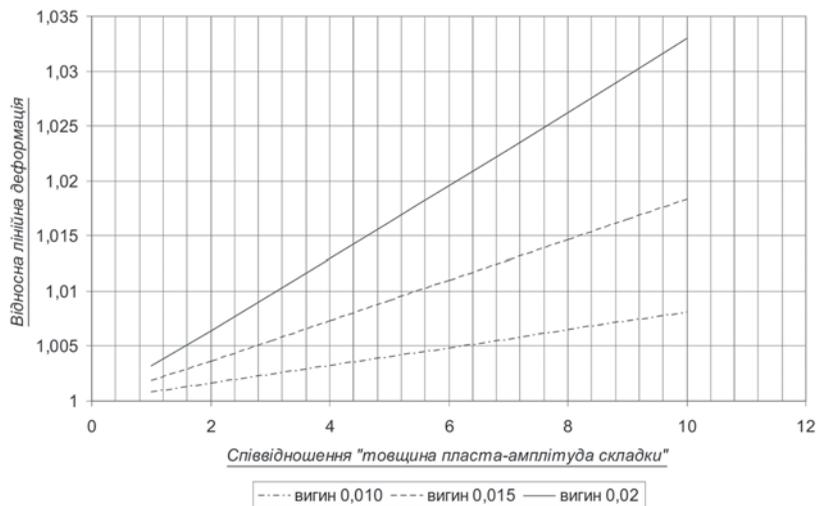


Рис. 3. Зависимость относительных линейных деформаций от соотношения «мощность пласта/амплитуда складки» при различных степенях изгиба локальной структуры

тивной площади, непосредственно под полем шахты им. 50-летия СССР, выявлены пласты h_8^1 и h_{10}^8 свиты S_2^3 , которые соответствуют требованиям, предъявляемым к промышленно-угленосным пластам. Резервный участок шахты им. 50-летия СССР охватывает присводовую часть Самсоновской антиклинали. На всем протяжении в пределах участка проектируемых работ антиклиналь представляет собой асимметричную складку с крутым южным крылом ($40-50^\circ$) и пологим северным ($4-8^\circ$), переход этот резкий и происходит непосредственно в осевой плоскости антиклинали. Разрывные нарушения на площади работ представлены Самсоновским (Ильичевским) надвигом и его апофизой – Продольным или Слепым надвигом. На всем протяжении Самсоновский надвиг сопровождается значительной зоной тектонической брекчии мощностью от нескольких метров до 200–250 м. Падение плоскости сместителя надвига – южное.

Анализ планов горных работ отработанных пластов показал, что малоамплитудная разрывная нарушение здесь представлена надвигами, взбросами, сбросами, сдвигами и др. Для них характерно зональное пространственное расположение. Зоны ориентированы в соответствии с основными продольными и поперечными тектоническими структурами Донбасса и связаны генетически как с крупноамплитудными разрывами, так и с наиболее сложными частями крупных складок.

В результате проведенных работ построены карты локальных структур и градиентов локальных структур по угольным пластам h_8^1 и h_{10}^8 резервного блока шахты им. 50-летия СССР, которые свидетельствуют о неоднородности складчатых деформаций в пределах поля. Для западной части характерно развитие узких линейных складок запад-северо-западного простирания; восточной и центральной – широких плавных перегибов широтного простирания.

На карте градиентов локальных структур по угольному пласту h_{10}^8 (рис. 4) выделен ряд зон со значением показателя $< 0,05-0,10$ у.е., что свидетельствует об отсутствии в этих зонах малоамплитудной разрывной нарушенности.

Эти зоны расположены преимущественно в центральной части поля; незначительные по площади аналогичные участки отмечены и в западной части поля. В целом западная и восточная части поля достаточно сильно поражены малоамплитудной нарушенностью.

Сопоставление параметров прогнозируемых зон нарушенности с существующими крупно- и среднеамплитудными нарушениями показало, что в западной части поля, в районе Семейкинского надвига, наблюдается целая цепочка вытянутых с северо-запада на юго-восток аномальных зон ($\text{grad } Z_{1-2} > 0,10$) градиента локальных структур. Причем, судя по строению аномальных зон, Семейкинский надвиг можно продолжить в юго-восточном направлении, либо предположить здесь наличие зоны дробления, состоящей из небольших по амплитуде (до 1–2 м) нарушений, являющихся опережающими Семейкинского надвига.

Небольшие по площади области развития прогнозной малоамплитудной нарушенности следует предположить в районе Приосевого надвига и его Северной ветви. В районе Самсоновского надвига – в западной части поля более интенсивно, а далее на восток менее – развиты, судя по полю градиентов, зоны опережающих мелких нарушений. Центральная часть поля, как было отмечено выше, практически не осложнена малоамплитудной нарушенностью. В восточной, северо-восточной частях поля отмечен ряд прогнозных (по градиенту локальных структур) зон малоамплитудной нарушенности. В районе западного окончания Приосевого Западного надвига выделяется локальная прогнозная зона асимметрич-

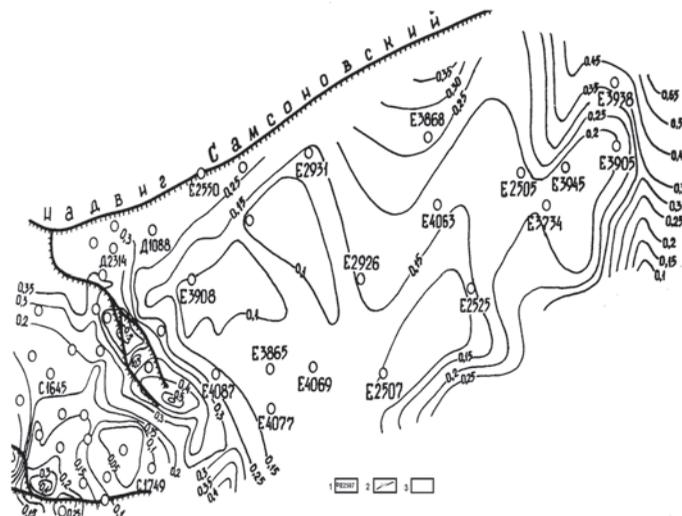


Рис. 4. Прогнозная карта малоамплитудной нарушенности угольного пласта h_{10}^B шахты им. 50-летия СССР: 1 – номер скважины, 2 – изолинии градиентов локальных структур, 3 – разрывные дислокации

ного строения. Ее наличие может свидетельствовать о зоне дробления на конце надвига, т.е. о веерообразном расщеплении его окончания.

В районе скважин E-3926, E-3906 наблюдается вытянутая с северо-запада на юго-восток прогнозная зона нарушенности, параллельная простиранию Семейкинского надвига. В юго-восточной части поля по краю планшета отмечен ряд изометрических прогнозных зон нарушенности, вытянутых широкой цепочкой с юго-запада на северо-восток параллельно Самсоновскому сбросу. По аналогии здесь предполагается наличие вытянутой зоны дробления либо зоны малоамплитудных надвигов.

В результате выполненных исследований в западной, южной и северо-восточной частях участка выделен ряд зон с возможным развитием мелкоамплитудных разрывов. Эти зоны пространственно совпадают с надвигами: Семейкинским, Продольным и Слепым, с осью антиклинального перегиба и ядром Самсоновской антиклинали. Центральная часть участка имеет относительно спокойное залегание угленосной толщи (рис. 4).

Результаты работ подтверждены данными бурения и геофизическими исследованиями в скважинах (видеокаротаж). Так, в западной зоне подтверждено наличие восточного продолжения надвига Семейкинского (скважины E-4069 и E-4077 с амплитудами 20 и 13 м) и его апофиз (E-3865 и E-4078, амплитуды 27 и 7 м), в восточной – надвига Слепого (E-3905, E-3905 и E-3908, амплитуды 11, 31 и 43 м).

Метод проверялся на отработанных пространствах угольных пластов шахт «Кировская», «Лидиевка», «Восточная», «Глубокая», им. В.И. Ленина, «Октябрьская», «Грузская-Наклонная» Донецко-Макеевского геолого-промышленного района; «Самарская», «Павлоградская», им. Героев Космоса, им. Ленинского комсомола Украины, «Днепроградская» в

Западном Донбассе. В целом расчет проводился для 40 шахтопластов. Экспериментально установлено [5], что в северо-западной части Донецкого бассейна численное значение градиента локальных структур, соответствующее зонам развития малоамплитудных нарушений, превышает 0,05 у.е. Результаты показали удовлетворительную сходимость прогнозируемых по данным геологоразведочных работ областей наибольших градиентов признаков с фактическими зонами малоамплитудных нарушений.

Для выделения нарушенных зон предложена методика построения карт градиентов локальных структур.

1. Безручко К. А. Умови формування та збереження скупчень газу у низькопористих вугленосних відкладах: Дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.16. Дніпропетровськ: ДВНЗ «НГУ», 2012. – 321 с.
2. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса / Забигайло В. Е., Широков А. З., Белый И. С. и др. – К.: Наукова думка, 1974. – 272 с.
3. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. – М.: Недра, 1975. – 536 с.
4. Голф-Рахт Т. Д. Основы нефтепромышленной геологии и разведки и разработки трещиноватых коллекторов / Перевод с английского Н. А. Бардиной, П. К. Голованова, В. В. Власенко, В. В. Покровского / Под ред. канд. техн. наук А. Г. Ковалева. – М.: Недра, 1986 – 607 с.
5. Забигайло В. Е. Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса. – К.: Наукова думка, 1994. – 150 с.
6. Кратенко Л. Я. Исследование геологических условий формирования локальных выбросоопасных зон на пологопадающих угольных пластах Донбасса: Дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.16. – Днепропетровск: ДГИ, 1976. – 220 с.
7. Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок. – М.: Недра, 1981. – 245 с.