

## Природа и прогноз региональной зональности динамических явлений в шахтах Донбасса

© А. В. Анциферов<sup>1</sup>, М. М. Довбнич<sup>2</sup>, В. А. Канин<sup>1</sup>,  
И. А. Виктосенко<sup>2</sup>, 2012

<sup>1</sup>УкрНИМИ НАН Украины, Донецк, Украина

<sup>2</sup>Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

Поступила 23 июня 2011 г.

*Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым*

Розглянуто основні положення методики і результати прогнозування регіональних зон розвитку динамічних явищ у шахтах Донбасу на основі оцінки механічних напружень геологічного середовища, зумовлених порушенням рівноважного стану Землі, за гравіметричними даними.

Principal propositions of the method and results of prediction of regional zones development of dynamic phenomena in the mines of Donets Basin are considered on the basis of geological environment mechanical stresses estimation caused by disturbance of the equilibrium state according to gravimetric data.

**Введение.** При освоении Донецкого угольного бассейна — основного топливно-энергетического региона Украины — задействован неопределенный человеческий ресурс. Потому особенно ощутимыми являются человеческие потери, сопровождающие в отдельных случаях угледобычу. Обеспечение безопасности горных работ — главная промышленно-функциональная проблема угледобывающих предприятий, требующая самого пристального внимания и научного осмысления.

В угольных шахтах Донбасса, как и в других угольных регионах, где добыча осуществляется подземным способом, издавна существует опасность динамических явлений в горных выработках, в первую очередь газодинамических — внезапные выбросы.

Внезапные выбросы угля, породы и газа происходят в форме незапланированного технологией горных работ лавинообразного разрушения призабойной части угольного (породного) массива, как правило, после некоторого периода подготовки, длительность которого определяется несколькими факторами:

— геологическим, связанным с комплексом геологических процессов на всех стадиях формирования угольного месторождения;

— техногенным, связанным с изменениями геомеханического состояния окружающего массива в результате опережающей разработки смежных пластов;

— технологическим, связанным с изменениями газодинамического режима призабойной части пласта в процессе его разработки под влиянием различных технологических приемов и способов воздействия на массив;

— текущим, связанным с энергетическим состоянием призабойной части массива в данный момент времени.

И если три последних фактора определяют главным образом техногенным влиянием на массив горных пород при его разработке, то геологический фактор имеет исключительно естественную природу. Одной из его важнейших характеристик являются тектонические напряжения. В частности, в условиях Донбасса — это напряжения, возникающие при деформировании осадочной толщи при перемещении блоков фундамента. Природная составляющая механизма динамических явлений в горных выработках во многом аналогична механизму возникновения землетрясений. Действительно, динамические явления можно рассматривать как

скачкообразный процесс нарушения сплошности углепородного массива при ведении горных работ, нарушающих естественное напряженное состояние, которое, в свою очередь, определяется как весом вышележащих пород, так и тектоническими процессами, протекавшими и протекающими в массиве. При этом тип динамического явления определяется свойствами самого массива.

Напряженно-деформированное состояние геологической среды — один из ключевых факторов в природе возникновения разномасштабных динамических явлений. В общем случае в любой точке горного массива напряженное состояние определяется весом вышележащих пород, тектоническими факторами, а в случае ведения горных работ еще и перераспределением напряжений вокруг горной выработки. Особенности пространственного распределения тектонических напряжений более сложные, чем литостатических. Опираясь терминами разведочной геофизики, можно сказать, что литостатические напряжения являются нормальными, а тектонические — аномальными. Важно различать тектонические напряжения, возникающие под действием планетарных факторов, и напряжения, обусловленные вторичными деформационными процессами в геологической среде, например, подвижками блоков земной коры, складко- и разломообразованием. Более того, имеет место изменение полей напряжений во времени. Так можно говорить о современных напряжениях и палеонапряжениях, действовавших в геологическом прошлом и частично или полностью релаксировавших к настоящему времени.

Определяющую роль в поддержании значительного уровня современных тектонических напряжений играет неотектоническая активность в пределах той или иной территории. В этой связи одной из актуальных задач в исследовании геологических причин возникновения динамических явлений в горных выработках является прогноз геодинамически активных зон.

В сущности, идея исследования зональности динамических явлений в пределах Донбасса с привлечением информации о неотектонической активности не нова. В начале 1960-х годов Г. А. Коньков выдвинул концепцию группировки выбросов угля и газа в линейные зоны [Коньков, 1962]. В основу исследований были положены комплексный анализ распределения выбросов и идея об их связи с современными тектоническими движениями. В

своих работах Г. А. Коньков выделил ряд зон северо-восточного простирания, по его мнению соответствующих областям наиболее контрастных движений. Впоследствии его идеи нашли развитие в работах В. С. Вереды с соавторами [Вереха, Юрченко, 1968], которые также выделяют региональные газодинамические зоны северо-восточного простирания, полагая, что региональные выбросоопасные зоны отражают повышенные тектонические напряжения в угленосных отложениях Донбасса, связанные с контрастными современными деформациями земной поверхности. В исследованиях В. А. Привалова показана тектоническая природа зон выбросоопасности в Донбассе, а именно их связь со сдвиговыми дислокациями [Привалов, 2003].

**Основные принципы методики исследований.** Авторы настоящей статьи также придерживаются мнения о приуроченности динамических явлений в горных выработках к геодинамически активным зонам тектоносферы и полагают, что исследование полей напряжений является важнейшим этапом выделения геодинамически активных зон при прогнозировании зональности динамических явлений в горных выработках. В статье рассматриваются основные методические положения выделения и некоторые результаты прогнозирования региональной зональности динамических явлений в шахтах Донбасса.

На сегодняшний день разработаны алгоритмы расчета полей напряжений, обусловленных нарушением равновесного состояния [Тяпкин, 1985], на основе анализа аномалий геоида [Довбнич, 2008].

В работе [Довбнич, Демьянец, 2009] показано, что геодинамически активные зоны тектоносферы проявляются в аномалиях напряжений, обусловленных нарушением равновесного состояния. В первую очередь такие зоны, при условии достаточности величины действующих в них напряжений, проявляют себя как сейсмически активные [Довбнич, Демьянец, 2010]. В рассматриваемых напряжениях находят отражение элементы, являющиеся тектонической основой сейсмогенерирующих структур.

В условиях Донецкого бассейна выполнение расчетов по оценке напряженного состояния геологической среды, обусловленного нарушением равновесного состояния, выполнялось на основе материалов наземной гравиметрической съемки масштаба 1 : 200 000 и цифровой модели рельефа. Для большей части территории региона, на основании авторской ме-

тодики [Довбнич, 2008; Довбнич, Демьянец, 2009], по сети  $4 \times 4$  км было выполнено восстановление аномалий геоида по наземным

гравиметрическим данным — аномалиям силы тяжести в редукции Фая (рис. 1). Полученные аномалии геоида послужили основой для

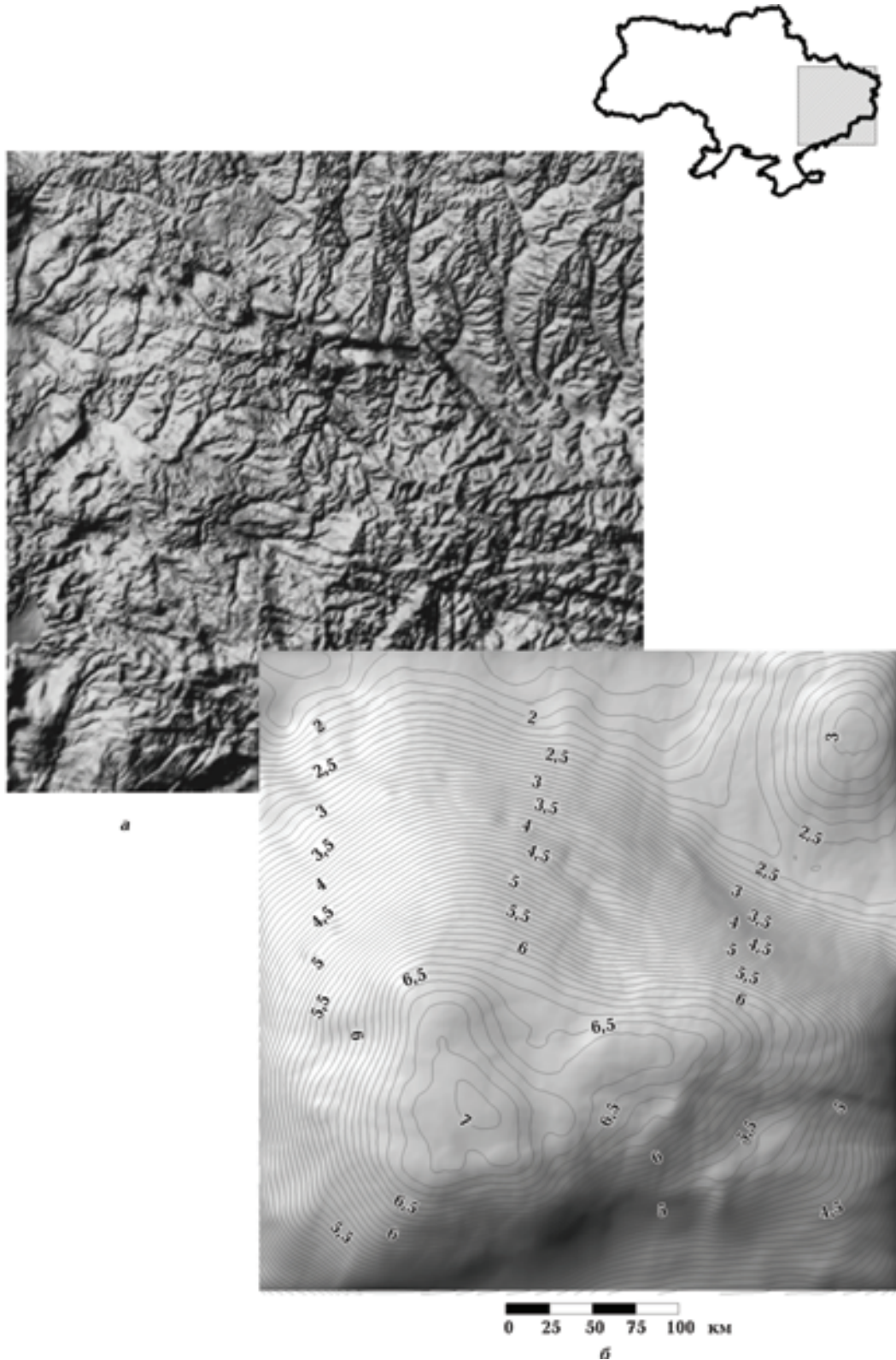


Рис. 1. Светотеневая схема аномалий силы тяжести в редукции Фая (а) и результат восстановления аномалий геоида (б), м.

расчета полей напряжений территории исследований.

С целью определения позиции расчетных полей напряжений в тектонике и геодинамике исследуемого региона, а также влияния разномасштабных и разноглубинных процессов на нарушение равновесного состояния, было выполнено разделение полей напряжений на локальную и региональную составляющие. Комплексный анализ расчетных полей напряжений, тектоники Приазовского блока Украинского щита (УЩ) и зоны сочленения УЩ и Донбасса позволяет говорить о том, что региональная составляющая полей напряжений отражает в основном блоковую структуру кристаллического основания, находящегося в разнонапряженном состоянии. Учитывая, что динамические явления в шахтах приурочены к осадочной толще Донецкого бассейна, становится очевидным, что надо искать их связь с локальной составляющей полей напряжений, обусловленной нарушением равновесного состояния, которая, по мнению авторов, отражает главным образом деформационные процессы в осадочной толще. В то же время четко устанавливается приуроченность локальных аномалий поля напряжений к градиентным зонам региональных аномалий, что свидетельствует об их возникновении в ходе эволюции разломно-блокового кристаллического основания.

Теоретические предпосылки связи динамических явлений, зон миграции и скопления углеводородов в углепородном массиве с особенностями напряженного состояния геологической среды позволяют использовать поля напряжений, обусловленные нарушением равновесного состояния, в качестве дополнительного прогностического критерия при решении задачи прогноза региональных зон развития динамических явлений в горных выработках. Рабочей гипотезой таких построений может быть следующее утверждение: *региональные зоны развития динамических явлений определяются степенью деформационных процессов, протекающих в осадочной толще, которые, в свою очередь, находят отражение в локальной составляющей полей напряжений, обусловленного нарушением равновесного состояния.*

Интегральной характеристикой поля напряжений, отражающей всю совокупность деформационных явлений, может выступать энергия упругих деформаций, расчет которой не составляет труда, если известны элементы тензора напряжений. В соответствии с указанной рабочей гипотезой данную характеристику можно рассматривать как индикатор запасенной углепородным массивом упругой энергии, связанной с его деформированием.

**Некоторые результаты и выводы.** В качестве примера рассмотрим прогнозную схему региональных зон развития динамических явлений, построенную на основе локальной составляющей энергии упругих деформаций (рис. 2). Сопоставление выделенных зон с региональной составляющей полей напряжений и локализованными границами блоков фундамента

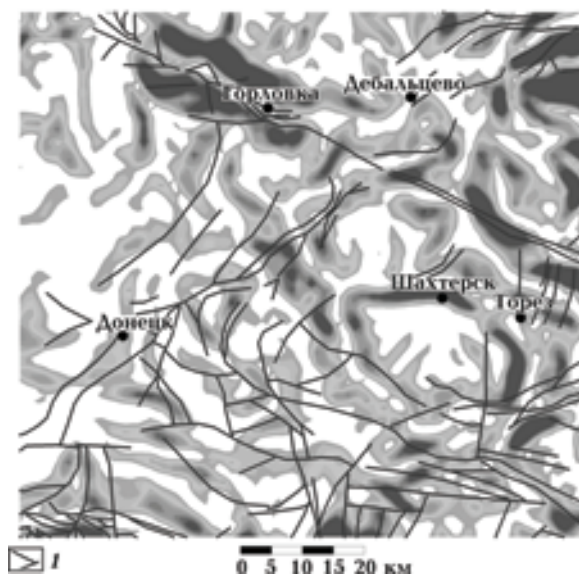


Рис. 2. Фрагмент прогнозной схемы региональных зон развития динамических явлений:  
1 — тектонические нарушения.

позволяет говорить о ключевой роли в образовании этих зон подвижек блоков кристаллического основания как в геологическом прошлом, так и в настоящее время.

В ходе исследований на более детальном уровне было выполнено сопоставление рассчитанных полей напряжений с газодинамическими явлениями, произошедшими при обработке пластов  $m_3$ ,  $l_4$ ,  $l_1$  и  $k_8$  шахты им. А. Ф. Засядько (рис. 3).

Шахта является сверхкатегорийной по метану, опасна по внезапным выбросам угля, пород, газа и по взрывчатости каменноугольной пыли [Анциферов и др., 2009].

В тектоническом отношении поле шахты расположено в южной части Кальмиус-Горец-

кой котловины на приподнятом крыле Ветковской флексуры. Отложения карбона здесь имеют пологое северо-восточное падение с углами  $7\text{--}25^\circ$ . Шахтное поле на западе ограничено Ветковским и Пантелеймоновским надвигами с амплитудами  $10\text{--}30$  м. Восточная часть площади ограничена Григорьевским надвигом с амплитудой  $35\text{--}55$  м. В настоящее время разрабатываются угольные пласты  $m_3$ ,  $l_4$ ,  $l_1$  и  $k_8$  на глубине  $1200\text{--}1400$  м.

На первом этапе было выполнено сопоставление газодинамических явлений, произошедших при обработке пластов  $m_3$ ,  $l_4$ ,  $l_1$  и  $k_8$ , с локальными полями напряжений, рассчитанными по материалам наземной гравиметрической съемки масштаба  $1 : 200\ 000$  по сети  $1 \times 1$  км



Рис. 3. Схема сопоставления выкопировки из плана горных работ по пласту  $m_3$  шахты им. А. Ф. Засядько с основными тектоническими нарушениями: 1 — газодинамические явления, 2 — прогнозные зоны скопления метана [Гончаренко и др., 2007], 3 — тектонические нарушения.

(рис. 4). Как видно, газодинамические явления в пределах шахты можно разбить на две группы: большее количество явлений приурочено к аномалии интенсивных скальвающих напряжений, меньшее — к зоне влияния надвига и связано с аномалией сжимающих напряжений.

С аномалией интенсивных скальвающих напряжений связана и большая часть зон скопления метана, прогнозируемых комплексом независимых методов [Гончаренко и др., 2007]. Фактически указанные аномалии скальвающих напряжений локализуют зоны контрастных тектонических движений, приуроченные к градиентным зонам напряжений сжатия—растяжения (см. рис. 4). Авторам настоящей статьи представляется, что формирование областей перехода метана в свободное состояние, развитие путей его естественной миграции и возникновение зон скопления тесным образом связаны с увеличением пустотного пространства и проницаемости углепородного массива под действием механических напряжений тектонической природы, возникающих в областях контрастных тектонических движений. Необходимо отметить, что в случае действия скальвающих напряжений происходит раскрытие трещин и формирование коллектора, при этом дегазация углепородного массива будет намного ниже, чем при раскрытии трещин под действием растягивающих напряжений. Таким образом, можно утверждать, что в пределах поля шахты им. А. Ф. Засядько, помимо техногенной компоненты, влияющей на развитие газодинамических явлений, существенное значение имеет естественное напряженное состояние углепородного массива, обуславливающее как приуроченность динамических явлений к геодинамически активным зонам, так и развитие в углепородном массиве условий, благоприятных для их возникновения, в частности формирования зон скопления метана [Довбнич, 2007].

На втором этапе для более детального анализа деформационных процессов в осадочной толще в пределах шахтного поля был выполнен тренд-анализ поверхности угольного пласта  $m_3$ . В результате получена схема локальной складчатости, осложняющей близко моноклиналиное залегание данного пласта (рис. 5), представляющая разность поверхности пласта и аппроксимирующей его поверхности, являющейся полиномом третьего порядка.

При сопоставлении схемы локальных складок с динамическими явлениями и прогнозными зонами скопления метана видно, что их боль-

шинство приурочено к градиентной зоне локальных складок, природа которой тесным образом связана с процессами, находящими отражение в аномалиях интенсивности локальных касательных напряжений. Указанные закономерности наглядно подтверждают факт приуроченности газодинамических явлений к зонам перегибов пластов [Забигаило и др., 1974].

Установленные в пределах поля шахты им. А. Ф. Засядько закономерности подтверждают сделанные ранее предположения о связи определенных составляющих поля напряжений, обусловленного нарушением равновесного состояния Земли, с деформационными процессами, протекающими в осадочной толще, и отражении в нем зоны развития динамических явлений.

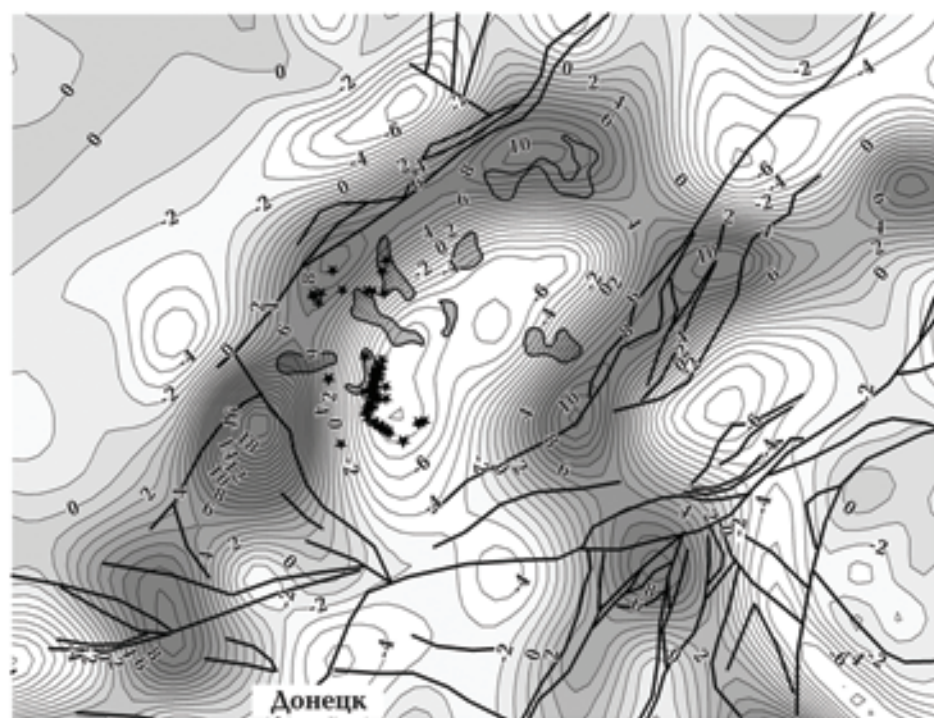
Это не единственная характеристика, определяющая геологический фактор возникновения динамических явлений в горных выработках. Только комплексный учет полей напряжений, тектоники, особенностей гипсометрии угольных пластов, глубины их залегания, степени метаморфизма и других факторов позволит повысить достоверность таких построений.

Прогнозирование на полях действующих и строящихся шахт напряженных участков, потенциально опасных по газодинамическим явлениям, позволит своевременно выполнять профилактические мероприятия, повышая безопасность горных работ, и существенно сократить затраты на неопасных участках, тем самым повышая эффективность горного производства.

Весьма интересные перспективы открываются при комплексировании предлагаемого подхода с мониторинговыми наблюдениями с помощью GPS. В этом случае территория Донбасса покрывается стационарно действующей сетью GPS профилей, на которых в одних и тех же точках определяются их высоты. Этим выявляются аномальные по скорости воздымания релаксационные участки, под которыми предполагается наличие аномальных глубинных напряжений. При этом поля напряжений, связанные с нарушением равновесного состояния, и современные движения могут являться независимыми признаками, взаимно дополняющими друг друга, а использование информации о напряженном состоянии позволит оптимизировать сеть расположения GPS приемников. В результате такого комплексирования предполагается построение карты напряженно-деформированного состояния Донбасса, где особое внимание будет уделено исключительно на-



а



б



Рис. 4. Схема сопоставления газодинамических явлений, произошедших на шахте им. А. Ф. Засядько, с локальными напряжениями, кПа: а — скалывающие напряжения; б — напряжения сжатия—растяжения. Условные обозначения см. на рис. 3.

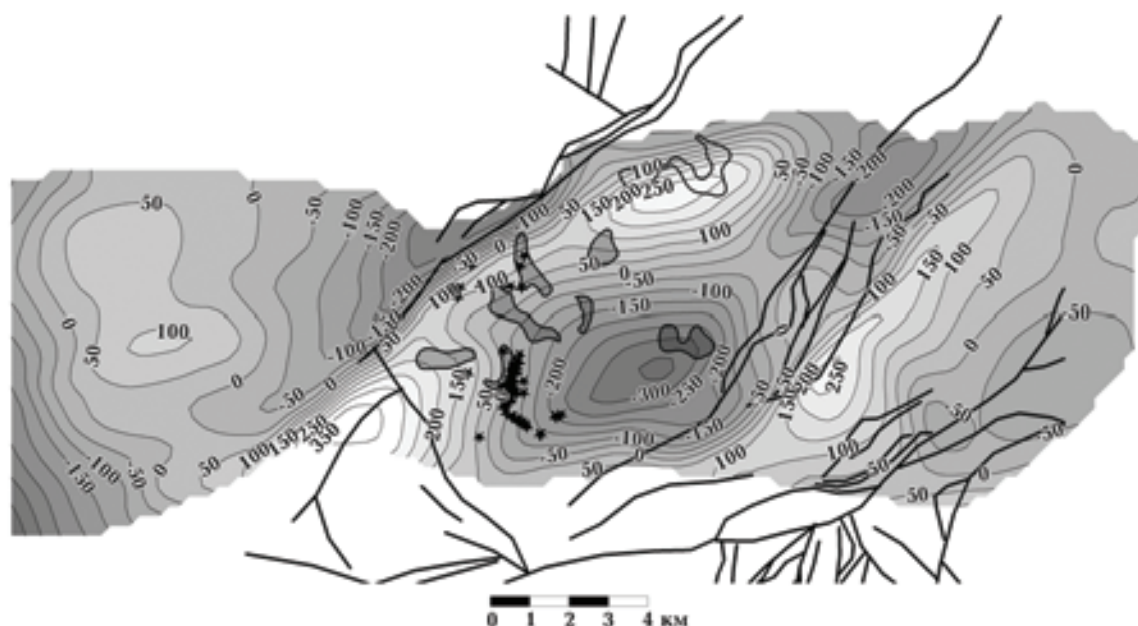


Рис. 5. Схема сопоставления локальной складчатости пласта  $m_3$  с газодинамическими явлениями. Условные обозначения см. на рис. 3.

пряженным участкам, потенциально опасным по газодинамическим явлениям. На потенциально опасных участках проводятся геохимические исследования с целью определения изотопного состава выделяющихся в горные выработки горючих газов и построения карт распределения газов глубинного происхождения.

В таких аномальных зонах перспективно и геомеханическое моделирование деформационных процессов в осадочной толще с целью оценки напряженно-деформированного состояния и его последующего геологического истолкования. На сегодняшний день сейсморазведка является единственным геофизическим методом, позволяющим, с одной стороны, выполнить детальные структурные построения исследуемой толщи, отражающей суммарные деформации, которые испытывала геологическая среда в ходе своей эволюции, от накопления толщ осадков до проявления современной неотектоники, а с другой, на основе анализа скоростей распространения упругих волн и плотности дать весьма точную информацию об упругих свойствах среды [Козлов, 2006]. Таким образом, появляется информация, необходимая для оценки напряженнодеформированного состояния среды, обусловленного протекающими в ней деформационными процессами. В последние годы исследователи в своих работах

неоднократно отмечали возможность изучения напряженно-деформированного состояния на основе структурно-скоростных моделей среды по данным сейсморазведки при решении задач нефтегазовой и угольной геологии [Козлов, 2006; Довбнич и др., 2009; Полохов и др., 2011]. В условиях угольных месторождений эта информация является "экзотической". В то же время отличительной особенностью при изучении угольных месторождений является относительно высокая степень их изученности буровыми работами. Как следствие, имеется априорная информация о структурно-тектонических моделях исследуемых площадей, которая может послужить основой для предварительной оценки напряженно-деформированного состояния углепородного массива, обусловленного протекающими в нем деформационными процессами.

Авторы убеждены, что при исследовании динамических явлений в геологической среде, независимо от их масштаба — землетрясения, горные удары, газодинамические явления и т. д., важнейшим элементом является изучение всей совокупности факторов, начиная от планетарных и заканчивая локальными, приводящих к нарушению равновесного состояния и обуславливающих возникновение механических напряжений во внешних оболочках Земли.



Список литературы

- Анциферов А. В., Голубев А. А., Канин В. А., Тиркель М. Г., Загара Г. З., Узиюк В. И., Анциферов В. А., Суярко В. Г. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины. — Донецк: Вебер, 2009. — Т. 1. — 456 с.
- Вереха В. С., Юрченко Б. К. О соотношении газодинамических зон, трещиноватости углей и температурного режима Донбасса с современными тектоническими движениями // Современные движения земной коры. — Москва: Недра, 1968. — Т. 4. — С. 80—89.
- Гончаренко В. А., Свистун В. К., Герасименко Т. В., Малиновский А. К. Перспективы комплексного геолого-геофизического прогноза зон скопления метана на угольных месторождениях Донбасса // Наук. вісник НГУ. — 2007. — № 4. — С. 73—77.
- Довбнич М. М. Нарушение геоизостазии и напряженное состояние тектоносферы // Геофиз. журн. — 2008. — 30, № 4 — С. 123—132.
- Довбнич М. М. Применение спутниковой и наземной гравиметрии для оценки геоизостатических напряжений тектоносферы — дополнительного критерия прогноза геодинамических процессов // Наук. вісник НГУ. — 2007. — № 11. — С. 64 — 69.
- Довбнич М. М., Демьянец С. Н. Геодинамическая и геотектоническая позиция полей геоизостатических напряжений сейсмоактивных сегментов Украины // Наук. вісник НГУ. — 2010. — № 2. — С. 57—63.
- Довбнич М. М., Демьянец С. Н. Поля напряжений тектоносферы, обусловленные нарушением геоизостазии и геодинамика Азово-Черноморского региона // Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 2. — С. 107—116.
- Довбнич М. М., Солдатенко В. П., Бобылев А. А. Оценка напряженно-деформированного состояния на основе структурно-скоростных моделей — новые возможности в решении задач нефтегазовой геологии // Технологии сейсморазведки. — 2009. — № 2. — С. 12—18.
- Забигаило В. Е., Широков А. З., Белый И. С., Кудельский В. В., Моссур Е. А., Рудометов Б. П. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса. — Киев: Наук. думка, 1974. — 270 с.
- Козлов Е. А. Модели среды в разведочной сейсмологии. — Тверь: ГЕРС, 2006. — 480 с.
- Коньков Г. А. О связи новейших и современных тектонических движений с метаноносными и выбросоопасными зонами в условиях Донецкого бассейна // Докл. АН СССР. — 1962. — 143, № 3. — С. 670—673.
- Полохов В. М., Довбнич М. М., Солдатенко В. П., Мендрий Я. В. Геомеханическое моделирование деформационных процессов в осадочной толще: оценка напряженно-деформированного состояния и его геологическое истолкование // Геоинформатика. — 2011. — № 3. — С. 46—53.
- Привалов В. А. Тектоническая природа зон выбросоопасности в Донбассе // Уголь Украины. — 2003. — № 3. — С. 33—37.
- Тяпкин К. Ф. Новая модель геоизостазии и тектогенез // Геолог. журн. — 1985. — № 6. — С. 1—10.