

УДК [551.242.1.03+662.831.3](477.6)

А. В. Никитенко

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

Поля напряжений западного замыкания Горловской антиклинали Донбасса и стадийность их развития

В статье рассмотрены вопросы формирования геологической структуры западного замыкания Горловской антиклинали Донбасса. По результатам полевых тектонофизических исследований трещинной тектоники были реконструированы тектонические поля напряжений и стадийность их развития в пределах поля шахты «Новодзержинская». Направленный и унаследованный характер изменения условий тектонического нагружения структуры западного замыкания Горловской антиклинали характеризуется последовательным изменением типа поля напряжений от наиболее древнего сбросового до наиболее молодого – сдвигового. Восстановленное поле напряжений по своим параметрам, особенно по ориентировке осей главных нормальных напряжений, совпадает с данными, полученными в своё время для Никитовского рудного поля. Это поле является самым молодым для Донбасса и датируется ларамийской фазой альпийского тектогенеза.

Ключевые слова: трещинная тектоника, поля напряжений

Всестороннее изучение процесса образования структурных деформационных элементов требует не только освещения закономерностей их распространения в пространстве и последовательности возникновения во времени, но и выяснения механизма их формирования.

Для понимания причин и условий образования различных морфологических типов складок и разрывов большое значение имеют закономерности распределения напряжений, сопровождающих развитие этих структурных элементов в земной коре. Вместе со схемой всех внешних активных сил, учетом основных особенностей механических свойств деформируемых пород, а также всей совокупности деформационных элементов структурного парагенезиса они представляют описание механизма.

Реконструкции параметров палеотектонических напряжений в пределах поля шахты «Новодзержинская», расположенной на периклинальном замыкании Горловской антиклинали Донецкого бассейна, в локальных объёмах горного массива выполнялись кинематическим методом, разработанным О.И. Гущенко и позднее усовершенствованным В.А. Корчемагиным, с использованием всей совокупности замеренных тектонических сколов и установленных на их стенках векторов смещения [1-3]. Параметры полей мезорегионального уровня (для отдельных выделенных блоков и шахтного поля в целом) восстанавливались как путём статистической обработки на стереографической сетке данных локальных реконструкций, так и аналитически.

В процессе реконструкции параметров поля напряжений по каждому локальному участку составлялись стереограммы, ставшие основой для всех остальных построений. Несмотря на то, что решение локальных стереограмм отличаются наибольшей изменчивостью ориентировок главных осей напряжений и других параметров поля, они позволяют установить характер поля напряжений и направленность приложения тектонических усилий в каждом локальном объёме горного массива, а также проследить их изменение от одного пункта замеров к другому.

С учетом того, что между ориентировками осей напряжений локального уровня и осями следующих структурных уровней существует закономерная связь, обусловленная иерархической природой полей напряжений, для перехода к полям мезорегионального уровня осуществлялась статистическая обработка данных о локальных полях напряжений. Эта процедура заключается в том, что все реконструкции локальных полей выносились на сводные стереограммы, на которых затем выделялись области распространения осей одного наименования, ограниченные коническими поверхностями с вершинным углом 90° , оси которых соответствуют осям напряжений следующего структурного уровня. Сводные стереограммы были составлены для двух структурных блоков поля шахты «Новодзержинская» и сводная для всей шахты.

С учетом особенностей геологического строения поле шахты «Новодзержинская» разделено на два структурных блока, граница между которыми проходит по зоне Осевого надвига: первый блок - с преимущественно северным и второй блок – с преимущественно юго-западным падением пород (рис. 1).

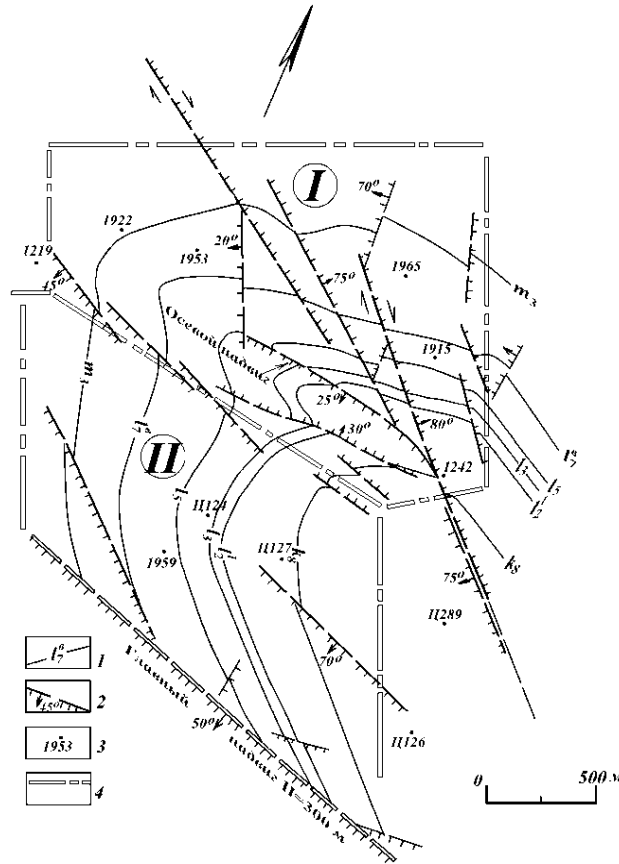


Рис. 1 – Структурная схема поля шах. «Новодзержинская» (план горизонта –502 м):
 1 – основные угольные пласты; 2 – тектонические разрывы; 3 – разведочные скважины; 4 – границы структурных блоков

Более простым тектоническим строением характеризуется второй блок. По простиранию он ограничен сместителями Осевого (на северо-западе) и Главного (на юго-востоке) надвигов. Залегание пород здесь спокойное, слабоволнистое, дизъюнктивная нарушенность незначительная.

Более сложной геологической структурой характеризуется первый блок. Он насыщен многочисленными разрывами и интенсивными пликативными дислокациями. Среди дизъюнктивов преобладают разрывы трёх пространственных ориентировок (рис. 2а): крутопадающие северо-западные (аз.пад.40°∠75°) и меридиональные (аз.пад.272°∠80°), а также пологие северо-западного простирания (аз.пад.205°∠40°).

По характеру тектонических дислокаций первый блок, в свою очередь, может быть разбит на два домена. Один из них охватывает восточную часть блока, где развита мощная зона крутопадающих разрывов северо-западной ориентировки. Она состоит из нескольких субпараллельных сместителей круто падающих преимущественно на север (аз.пад. 40°∠70-80°) и формирующих в плане правый ряд кулис. Штрихи, замеренные на плоскостях сместителей этих нарушений, имеют угол наклона от 10 до 30°, что с учетом видимого смещения маркеров позволяет охарактеризовать их как правые сбросо-сдвиги. Пространство между этими основными разрывами рассечено системой практически ортогональных им левых сбросо-сдвигов. Морфологически – это крутопадающие разрывы северо-восточного простирания (аз.20-25°) с нормальными амплитудами смещения до 5-7м.

С учётом кинематики и пространственной ориентировки эти две системы разрывов (т.е. северо-западные правые и северо-восточные – левые сбросо-сдвиги) можно рассматривать как сопряженную пару сколов.

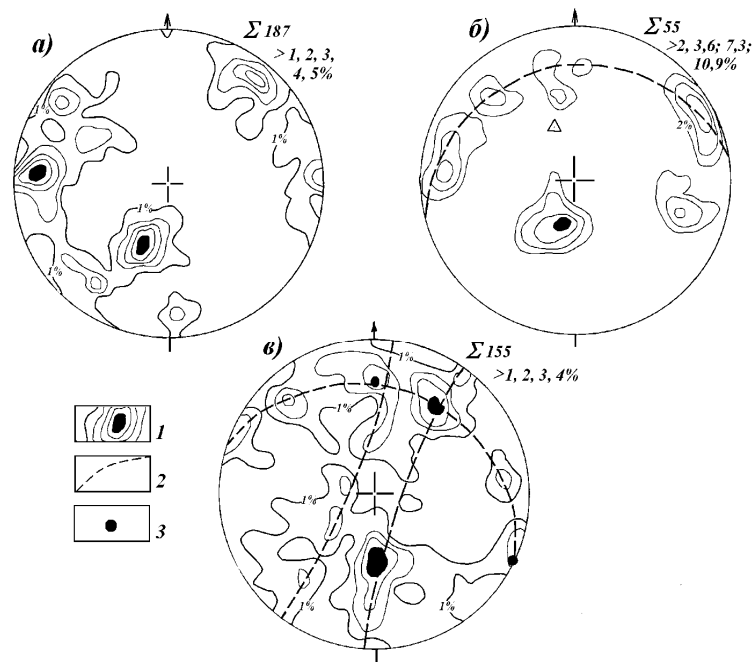


Рис. 2 – Стереограммы ориентировок трещинно-разрывных структур:
 а – ориентировка тектонических разрывов первого блока, б – ориентировка тектонических разрывов зоны Осевого надвига, в – ориентировка штрихов и борозд скольжения на зеркалах в зоне Осевого надвига
 1 – изолинии плотности распределения полюсов разрывов (штрихов); 2 – след поясов симметрии; 3 – ось поясов симметрии

Структура западной части первого блока определяется, прежде всего, выявленной здесь горными работами брахиантиклинальной складкой. На современной глубине развития горных работ отчетливо фиксируется периклиналь (особенно по пластам l_5, l_4^6, l_3, l_2^1) и северное крыло складки, её южное крыло срезается системой пологих разрывов, входящих в систему Осевого надвига. Основные геометрические элементы складки характеризуются следующим залеганием: шарнир – аз.пад. $275^\circ \angle 20^\circ$; осевая плоскость – аз.пад. $188^\circ \angle 82^\circ$. Перегиб слоев в своде плавный, усреднённые элементы залегания пород в крыльях: аз.пад. $347^\circ \angle 34^\circ$ (для северного) и $267^\circ \angle 18^\circ$ (для юго-западного). По своим размерам ($1,4 \times 0,6$ км по гор. 502 м), геометрическим параметрам и пространственной ориентировке эта купольная складка подобна брахискладкам Никитовского рудного поля и расположенным западнее Дылеевскому и Дзержинскому куполам.

В результате было установлено, что оси сжатия (σ_3) концентрируются в северо-западном и юго-восточном секторах стереограммы, а оси растяжения (σ_1) – в северо-восточном и юго-западном (рис. 1).

В целом, для всего шахтного поля оси главных нормальных напряжений располагаются субгоризонтально и ориентированы следующим образом: ось растяжения σ_1 – аз.прост. $50-60^\circ (230-240^0) \angle 22^\circ$, ось сжатия σ_3 – аз.прост. $320-330^\circ (140-150^\circ) \angle 10^\circ$. При выдержанной общей ориентировке осей, установлены некоторые особенности этой ориентировки в различных структурных доменах. Так, во втором блоке оси имеют следующие элементы залегания: σ_1 – аз.пад. $232^\circ \angle 30^\circ$, σ_3 – аз.пад. $140^\circ \angle 5^\circ$ и лежат в усредненной плоскости напластования для этого крыла (рис. 3в). В восточной части первого блока (сдвиговая зона) оси ориентированы следующим образом: σ_1 – аз.пад. $65^\circ \angle 24^\circ$, σ_3 – аз.пад. $330^\circ \angle 20^\circ$ и также лежат близко к усредненной плоскости напластования для этого блока (рис. 3а). В зоне Осевого надвига (западная часть первого блока) оси имеют следующую ориентировку: σ_1 – аз.пад. $230^\circ \angle 28^\circ$, σ_3 – аз.пад. $330^\circ \angle 18^\circ$. Ось сжатия здесь расположена близко плоскости напластования, а ось растяжения лежит в плоскости Осевого надвига (рис. 3б).

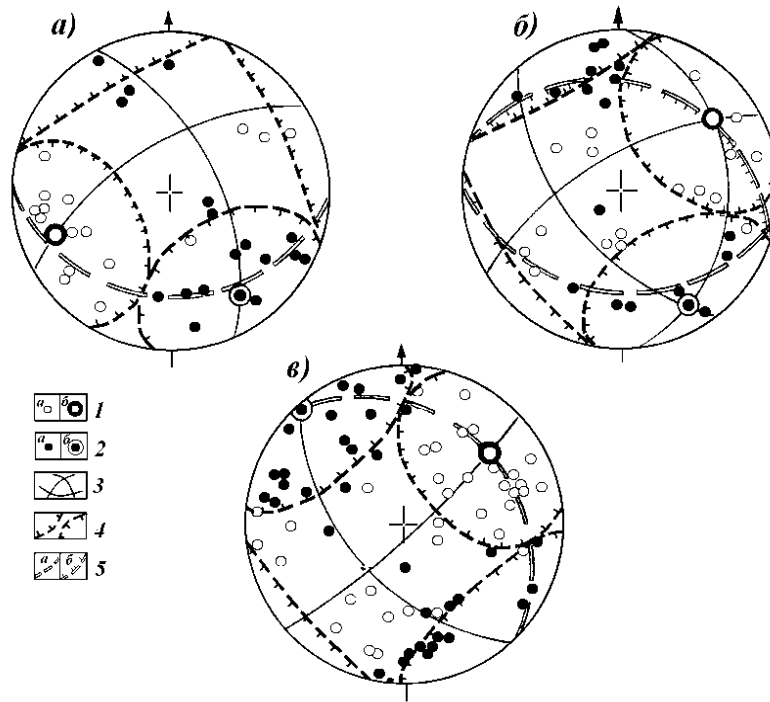


Рис. 3 – Реконструкции поля тектонических напряжений для разных блоков поля шахты «Новодзержинская»: а) первый блок – сдвиговая зона (а), зона Осевого надвига (б); в) второй блок:

1 – оси растяжения: а – локального уровня, б – мезорегионального; 2 – оси сжатия а – локального уровня, б – мезорегионального; 3 – плоскости действия главных нормальных напряжений; 4 – конические поверхности, ограничивающие области развития осей одного знака; 5 – плоскости: а – напластования; б – Осевого надвига

Сочетания осей мезорегионального уровня тектонических напряжений с разрывной структурой первого блока зоны западного замыкания Главной антиклинали (рис. 4а, б) однозначно расшифровываются путем сопоставления с идеализированными узорами рассеивания полюсов парагенетических семейств разрывов, соответствующим некоторым стандартным видам напряженного состояния [4]. Наличие малокруговых поясов сдвиговой разрывной тектоники вокруг осей σ_1 и σ_3 свидетельствует о реализации в условиях исследуемого района двух крайних видов напряженного состояния, когда при стабилизированном положении главных нормальных напряжений деформация объема происходила и при одноосном сжатии и при одноосном растяжении. Только в условиях одноосного растяжения вокруг оси σ_1 мог формироваться малокруговой пояс рассеивания полюсов сдвиговых разрывов, максимумы плотностей которого однозначно увязывались с ориентацией площадок действия максимальных касательных напряжений. Соответственно малокруговой пояс вокруг оси σ_3 мезорегионального поля тектонических напряжений своим возникновением должен быть обязан реализации одноосного сжатия. Это свидетельствует о реализации в условиях исследуемого района правосдвиговых смещений.

Учет структурной обстановки при изучении закономерностей в распределении главных нормальных напряжений позволил выявить приуроченность участков сильных виргаций осей и контрастной изменчивости напряженного состояния к структурным деформационным элементам западного замыкания Горловской антиклинали. Наиболее убедительным доказательством этому служат реконструкции в окрестностях крупных разрывов и сводовой части куполообразной складки. Однако следует отметить, что интенсивность искажения тектонодинамических характеристик в окрестностях разрывных и складчатых структур различна.

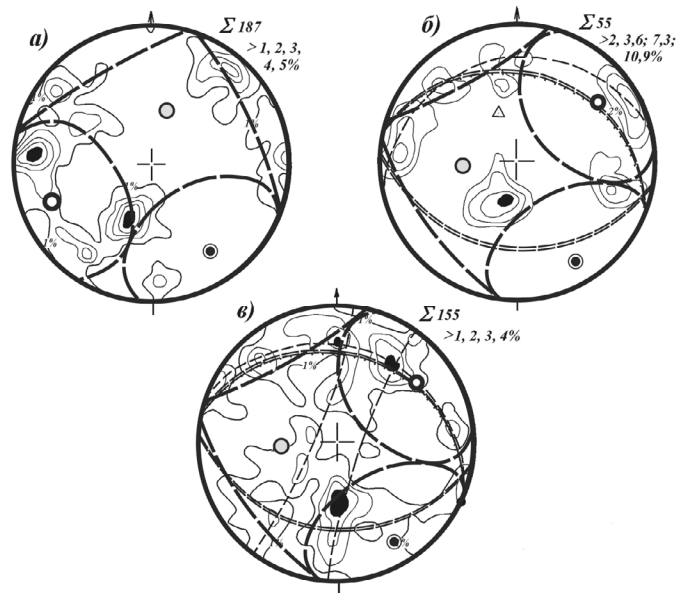


Рис. 4 – Совмещенные стереограммы ориентировок трещинно-разрывных структур и осей главных нормальных напряжений (см. условные обозначения рис. 2, 3):
 а – ориентировка тектонических разрывов первого блока, б – ориентировка тектонических разрывов зоны Осевого надвига, в – ориентировка штрихов и борозд скольжения на зеркалах в зоне Осевого надвига

Как было сказано выше, в распределении полей напряжений локального уровня наблюдается такая особенность строения реконструированного поля напряжений как закономерное искривление траекторий осей главных нормальных напряжений в окрестностях крупных разрывов. Оси главных нормальных напряжений стремятся занять здесь положение либо перпендикулярно, либо параллельно плоскости разрыва. При этом вдоль сместителя эти участки закономерно чередуются, последовательно сменяя друг друга.

Так, к примеру, реконструкция полей напряжений в пределах Осевого надвига по вентиляционному штреку 42–452 пласта m_3 (горизонт –452 м) показала последовательную изменчивость пространственных ориентировок осей главных нормальных напряжений и типа поля напряжений от взбросового до сдвигового. В первом случае восстановленное поле напряжений характеризуется следующими параметрами пространственной ориентации осей: σ_3 – аз.пад. $49^\circ \angle 21^\circ$, σ_1 – аз.пад. $299^\circ \angle 42^\circ$ (рис. 5а). Второе поле напряжений характеризуется субгоризонтальным положением оси сжатия и наклонной оси растяжения: σ_3 – аз.пад. $154^\circ \angle 11^\circ$, σ_1 – аз.пад. $56^\circ \angle 35^\circ$ (рис. 5б). В последнем случае оси главных нормальных напряжений располагаются субгоризонтально и ориентированы следующим образом: σ_3 – аз.пад. $108^\circ \angle 16^\circ$, σ_1 – аз.пад. $203^\circ \angle 18^\circ$ (рис. 5в).

Поля напряжений, реконструированные по пласту l_2^1 в пределах Торцекого надвига (горизонты –452 и –502 м), также характеризуются изменчивым положением ориентировок осей главных нормальных напряжений в пространстве. Здесь фиксируется изменение типа поля напряжений от сбросового до сдвигового. Ось растяжения на данном участке меняет свое положение от субгоризонтального ориентированного в юго-западном – северо-восточном и субширотных направлениях до крутонаклонного. Ось сжатия, в свою очередь, характеризуется изменением своих параметров в пространстве от крутонаклонного положения до субгоризонтального, ориентированного в субмеридиональном направлении. Восстановленные поля сбросового типа близки по своим параметрам и характеризуются следующими пространственными характеристиками: σ_3 – аз.пад. $307^\circ \angle 56^\circ$ и $138^\circ \angle 39^\circ$, σ_1 – аз.пад. $68^\circ \angle 19^\circ$ и $28^\circ \angle 23^\circ$ (рис. 6а, г). Взбросовое и сдвиговое поля характеризуются относительно стабильной ориентировкой оси сжатия σ_3 в субмеридиональном направлении и характеризуются следующими параметрами пространственного положения осей главных нормальных напряжений: σ_3 – аз.пад. $171^\circ \angle 10^\circ$ и $3^\circ \angle 29^\circ$, σ_1 – аз.пад. $277^\circ \angle 57^\circ$ и $102^\circ \angle 16^\circ$ соответственно (рис. 6б, в).

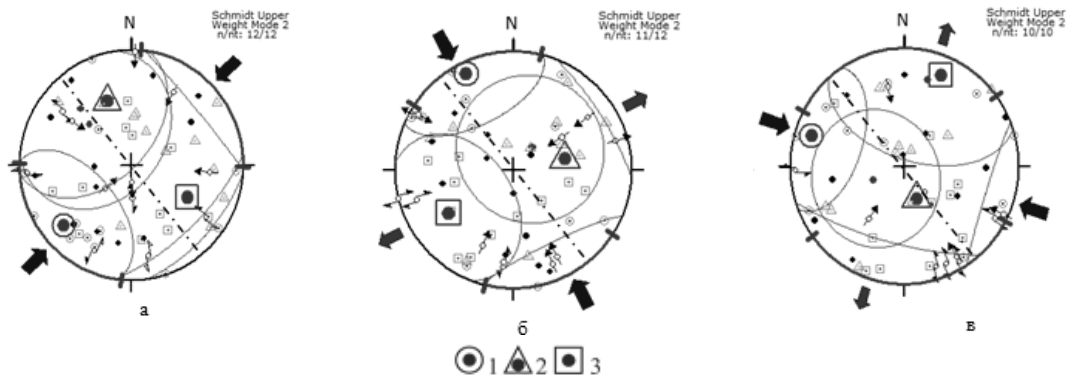


Рис. 5 – Реконструкции поля тектонических напряжений по вентиляционному штреку 42–452 пласта m_3 (горизонт –452 м):

1 – ось сжатия (σ_3); 2– промежуточная ось (σ_2); 3 – ось растяжения (σ_1)

Штрих-пунктир – усредненное простирание Осевого надвига

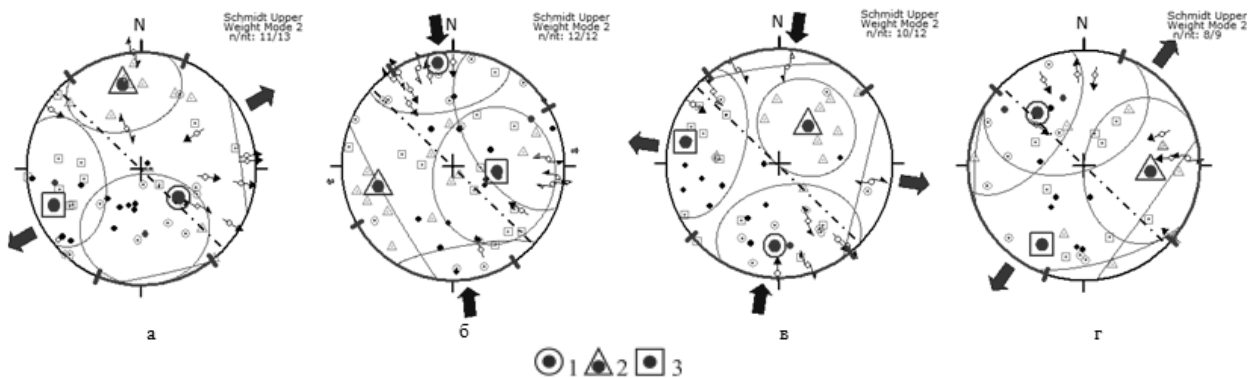


Рис. 6 – Реконструкции поля тектонических напряжений по пласту l_2^1 (горизонт –452 и –502 м):

Пункты замеров: а – точка 1 (15 м); б, в – точки 2, 3 (40 м), г – точка 4 (55 м)

1 – ось сжатия (σ_3); 2– промежуточная ось (σ_2); 3 – ось растяжения (σ_1)

Штрих-пунктир – усредненное простирание Торецкого надвига

Такой характер распределения локального поля напряжений хорошо согласуется с экспериментальными результатами, полученными в лаборатории тектонофизики Института Физики Земли РАН [5], и свидетельствует о периодическом изменении в пространстве и времени напряженного состояния пород вдоль развивающихся разрывов.

Можно отметить, что при внешне хаотичном характере пространственной переориентации осей главных нормальных напряжений, в обоих случаях проявляется тенденция осей занять позицию симметричную деформационным элементам. Так, в окрестностях разлома при сильных вращающих напряжениях σ_1 и σ_3 попеременно чаще ориентируются в плоскости разлома, либо вдоль нормали к нему. В своде куполообразной складки при общей устойчивости ориентации сжимающих напряжений оси растягивающих напряжений в пределах элементарных объемов, чаще всего контролируют положение в пространстве шарнира складки.

Аналитическое решение задачи было выполнено с использованием специализированного программного пакета GEOS, разработанного В. А. Корчемгиным и О. И. Гущенко [6]. Реконструкции осуществлялись на региональном уровне, для всей совокупности разрывов и зеркал скольжения.

В процессе реконструкции удалось выделить и восстановить 6 разновозрастных полей тектонических напряжений, под воздействием которых происходило формирование геологической структуры западного замыкания Горловской антиклинали. Эти поля последовательно сменяли друг друга во времени – от наиболее древнего (F) до наиболее молодого (A) (рис. 7). Абсолютные временные интервалы действия этих полей определить трудно, но последнее поле А по своим

параметрам синхронизируется с самым молодым, реконструированным для Донбасса и Приазовья альпийским полем тектонических напряжений [7, 8].

Основные параметры восстановленных полей приведены в таблице 1. В этой таблице в графе 1 приведено название поля; 2 – общее количество замеров, использованных при его реконструкции; 3 – процент от общего количества подвижек, которые соответствуют восстановленному полю; 4 – тип поля (сбросовый, взбросовый, сдвиговый); в 5, 6 и 7 – элементы залегания осей главных нормальных напряжений: азимут падения и угол растяжения (σ_1), промежуточной (σ_2) и сжатия (σ_3), соответственно; 8 – значение коэффициента μ_σ («+1» – одноосное сжатие, «1» – одноосное растяжение).

Таблица 1 – Параметры реконструированных тектонических полей напряжений

Стадия	Кол-во замеров	%	Тип поля	σ_1	σ_2	σ_3	μ_σ
A	934	34,4	сдвиговый	257 \angle 3	154 \angle 77	348 \angle 13	0,9
B	934	25,4	взбросовый	219 \angle 67	79 \angle 18	344 \angle 14	0,95
C	934	18,4	взбросовый	187 \angle 75	347 \angle 14	78 \angle 5	0,95
D	934	28,1	сдвиговый	336 \angle 13	178 \angle 76	68 \angle 5	-0,95
E	934	22,8	сбросовый	350 \angle 15	260 \angle 1	166 \angle 75	-0,95
F	934	18,7	сбросовый	259 \angle 2	350 \angle 15	162 \angle 75	-0,9

Самыми древними из восстановленных полей являются последовательно сменяющие друг друга поля F и E, характеризующиеся сбросовым типом. При приблизительно близкой крутонаклонной ориентировке оси максимального сжатия (σ_3) – аз.пад. 162° и 166°, они существенно отличаются по ориентировке оси растяжения, которая последовательно занимает положение от близширотного (аз. 259°) до субмеридионального (аз. 350°). Более молодое поле D – сдвиговое. Оси максимального тектонического сжатия и растяжения практически горизонтальны. Сжатие ориентировано субширотно (аз.пад. 68°), растяжение – близко к меридиану (аз.пад. 336°). Следующие два поля C и B – взбросовые, характеризующиеся близгоризонтальным сжатием и субвертикальным или крутонаклонным положением оси растяжения. Ось сжатия на этих этапах последовательно меняла своё направление – от субширотного (аз. 78°) до субширотного (аз. 344°). Самое последнее по времени проявления поле A является сдвиговым. Для него характерно близгоризонтальное положение осей σ_1 и σ_3 . При этом сжатие ориентировано практически продольно к основным складчатым структурам района (аз. 348°), растяжение – ортогонально (аз. 257°). Вид напряженного состояния для последних трех полей близок к одноосному сжатию, для остальных – к одноосному растяжению.

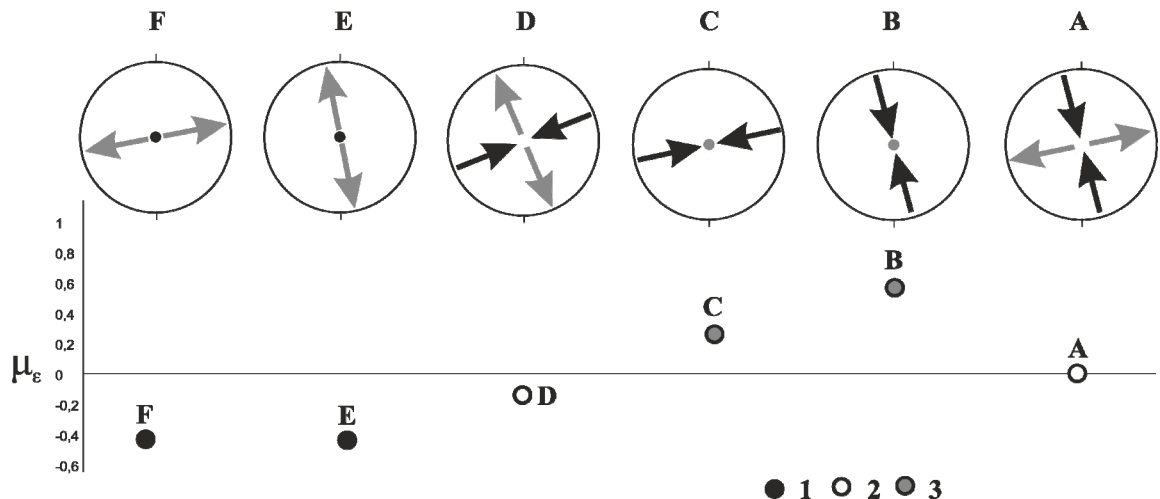


Рис. 7 – Направленный и унаследованный характер изменения условий тектонического нагружения структуры западного замыкания Горловской антиклинали Донбасса (траектория оси сжатия показана черной стрелкой, оси растяжения – серой стрелкой): типы полей напряжений: 1 – сбросовое; 2 – сдвиговое; 3 – взбросовое

Таким образом, направленный и унаследованный характер изменения условий тектонического нагружения структуры западного замыкания Горловской антиклинали характеризуется последовательным изменением типа поля напряжений от наиболее древнего сбросового до наиболее молодого – сдвигового.

В целом, восстановленное поле напряжений по своим параметрам (особенно по ориентировке осей главных нормальных напряжений) совпадает с данными, полученными в свое время для Никитовского рудного поля. Это поле является самым молодым для Донбасса и датируется ларамийской фазой альпийского тектогенеза [7, 8].

Библиографический список

1. Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции тектонических полей напряжений / О.И. Гущенко // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука, 1979. – С. 7–25.
2. Гущенко О.И. Кинематический метод определения параметров напряжений и характеристика их связи с тектоническими движениями по разрывам разных структурных уровней (на примере Западного Дарваза и сейсмически активных районов Южной Азии): автореф. дис. на соискание науч. степени канд. геол.–мин. наук: спец. 04.00.04 «Геотектоника» / О.И. Гущенко. – М. – 1981. – 22 с.
3. Корчемагин В.А. Геологическая структура и поля напряжений в связи с эволюцией эндогенных режимов Донбасса: дис. ... доктора геол.–мин. наук: 04.00.04 / Корчемагин Виктор Александрович – М., 1984. – 304 с.
4. Расцветаев Л.М. Выявление парагенетических семейств тектонических дизъюнктивов как метод палеогеомеханического анализа полей напряжений и деформаций земной коры / Л.М. Расцветаев // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука, 1987. – С.171–181.
5. Осокина Д.Н. Метод моделирования локальных полей напряжений в окрестностях тектонических разрывов в очагах землетрясений / Д.Н. Осокина, Н.Ю. Цветкова // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука, 1979. – С.139–162.
6. Гущенко О.И. Тектонический стресс-мониторинг и поля напряжений Причерноморского региона / О.И. Гущенко, А.О. Мострюков, В.А. Корчемагин и др. // Сб. науч. трудов ДонНТУ. – Донецк: ДонНТУ, 2001 – Серия горно–геологическая. – Выпуск 32. – С. 104–117.
7. 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.
8. Корчемагин В.А. Тектоника и поля напряжений Донбасса / В.А. Корчемагин, Ю.С. Рябоштан // Поля напряжений и деформаций в земной коре. – М.: Наука, 1987. – С. 164–170.

Надійшла до редколегії 29.08.14

Нікітенко О. В.

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна

Оцінка тектоніки та кінематичні плани західного змикання Горлівської антиклінали Донбасу

В статті розглянуто питання щодо оцінки та прогнозування тектонічної порушеності західного змикання Горлівської антиклінали Донбасу. За результатами польових тектонофізичних досліджень розривної тектоніки було вивчено ступінь тектонічної порушеності та виявлено особливості зміни кінематичного плану з глибиною геологічної структури, що розглядається. Відзначається переважання розривів субширотного простягання на верхніх горизонтах, які у кінематичному відношенні становлять собою різномасштабні структури насувного типу. Зі збільшенням глибини спостерігається переважання розривів субширотного та меридіонального орієнтування. На нижніх горизонтах переважають розриви меридіонального та північно-західного орієнтування, які характеризуються правозсувовою кінематикою.

Ключові слова: зсувова тектоніка, тектонічна порушеність, кінематичний план

Nikitenko A. V.

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Estimated tectonics and kinematic plans of Horlovskaya anticline western closure of Donbas

The problems of tectonic dislocation estimation and prognostication of Horlovskaya anticline western closure of Donbas were considered. Tectonic dislocation degree and kinematic plan change under conditions as the depth increases were studied under the fractured tectonics field tectonophysical findings within concerned geological structure. It should be noted that sublatitudinal-oriented faults are predominant on upper levels. These faults are different-scale thrust type structures in kinematic respect. There is an increase in the number of sublatitudinal and meridional-oriented faults as the depth increases. Subvertical meridional and northwest-oriented faults with dextral fault kinematics are observed on lower levels.

Keywords: shift tectonics, tectonic dislocation, kinematic plan