

АНАЛИЗ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ НАРУШЕННОСТИ ВО ЛЬВОВСКО-ВОЛЫНСКОМ БАСЕЙНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© Н.А. Дьяченко, Е.А. Панова, В.А. Привалов, 2007

*Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела НАН Украины, Донецк, Украина
Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина*

Based on the geoinformation system approach the mapping of tectonic patterns within the Lwiv-Volyn Basin coal has been carried out. The spatial model for tectonic structures combined with palaeostress analysis has been used to characterise the origin of tectonic zones. The obtained results demonstrate that the majority of faults in the sedimentary carapace can be considered R_1 , R_2 and P-wrench faults and their clock-wise rotated imprints were developed under the NW striking basement dextral shear zone which was reactivated due to the N-S orientation of compression axis.

Введение. С развитием ГИС постоянно расширяется практика использования средств пространственного анализа в задачах, связанных с прогнозом горно-геологических условий отработки угольных пластов и реконструкциями механизмов возникновения тектонической нарушенности угольных бассейнов.

Настоящая публикация посвящена изучению и анализу сдвиговой тектоники и вращения блоков во Львовско-Волынском угольном бассейне с использованием геинформационных технологий.

В последние десятилетия большое внимание уделяется проблеме описания и расшифровки тектонического строения, которое наряду с проблемой качества угля является определяющей для рационального проектирования и строительства новых шахт и безопасной эксплуатации перспективных участков в пределах действующих горнодобывающих предприятий. В рамках этой большой проблемы находится создание баз данных тектонических нарушений, которые были задокументированы в результате многолетних геологических съемок в горных выработках.

Львовско-Волынский бассейн (ЛВБ) является вторым по значимости угольным регионом Украины, его промышленное освоение начато в 50-х годах XX ст. В нем, по-прежнему, есть перспективные участки (например, участок «Великомостовский» №10 в пределах горного отвода шахты «Степова») для промышленной разработки высококачественного угля. В последние годы исследуемый регион вызывает так же особый интерес в связи с возможной пригодностью промышленного извлечения метана угольных месторождений [1, 2].

Использование геоинформационных технологий для анализа тектонической нарушенности бассейна обусловлено объективно назревшей необходимостью обобщения архивных материалов и данных многолетней документации разрывной тектоники в горных выработках бассейна с целью создания реалистической модели тектонической эволюции района исследований с последующей интеграцией полученных ГИС-компонент в системы управления рациональным и безопасным ведением эксплуатационных работ на глубоких горизонтах бассейна.

Тектоническая позиция территории исследований. Исследованию тектоники ЛВБ и прилегающих к нему территорий посвящены работы Х. Тейссейре, М. Тетяева, П. Шульги, В. Клушина, В. Кушнирука, О. Ступки, М. Павлюка, А. Желиховского, В. Ярошевского, И. Бубняка, О. Бубняка.

В геоструктурном отношении территория исследований расположена на юго-западной периферии Восточно-Европейского кратона (ВЕК). ЛВБ входит в состав протяженной структуры Трансевропейской сутурной зоны (ТЕСЗ) [3], разделяющей докембрийскую литосферу ВЕК с мощной корой и палеозойские тонкокорые мобильные пояса Западной Европы. В приповерхностной области ТЕСЗ перекрыта цепочкой осадочных бассейнов, среди которых выделяются палеозойские прогибы Люблинского и Львовско-Волынского каменноугольных бассейнов, разделенные Кумовской седловиной (рис. 1.). На фоне общего полого западного падения отложений карбона под углом 2–3° в пределах бассейна наблюдается волноподобный характер залегания каменноугольных от-

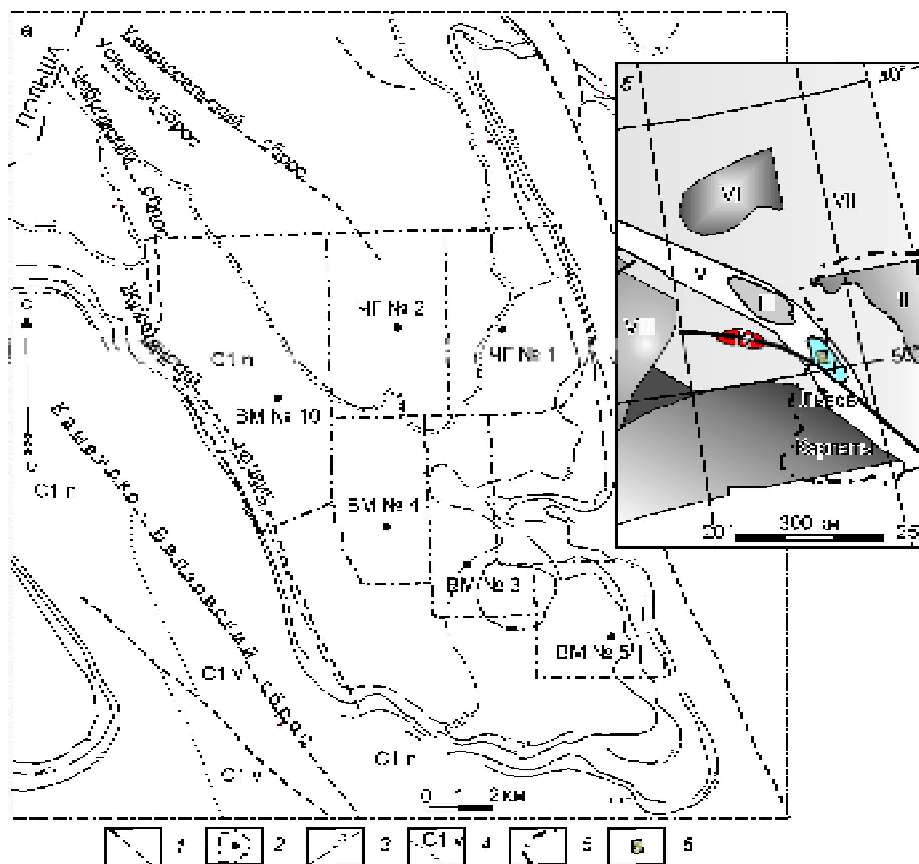


Рис. 1. Тектоническая карта ЛВБ (а) и тектоническая схема юго-западной периферии Восточно-Европейского кратона (ВЕК) и структур Западной Европы (б): 1 – тектонические разрывы; 2 – границы горных отводов и стволы шахт; 3 – выхода угольных пластов на поверхность; 4 – маркирующие горизонты; 5 – государственная граница Украины; б – границы территории исследований; I – ЛВБ; II – Украинский щит; III – Люблинский каменноугольный бассейн; IV – Свентокшийский массив и одноименная зона дислокаций; V – Трансевропейская сутурная зона; VI – Белорусско-Мазовецкая антеклизы; VII – Восточно-Европейский кратон; VIII – герциниды Западной Европы

ложений в виде разделенных поднятиями брахиосинклиналей северо-западного простирания, совпадающего с общей ориентировкой ТЕСЗ. Поднятия в каменноугольных отложениях являются природными границами отдельных месторождений угля в районах Волынской и Забугской моноклиналей, Сокальской, Межреченской, Тягловской и Каровской синклиналей [4]. На юго-западе рассматриваемая территория граничит с передовым прогибом Карпатской геосинклинали (внешней зоной Предкарпатского прогиба) [5]. Структурный план, как поверхности фундамента, так и осадочного чехла ЛВБ, определяют системы протяженных разрывных нарушений преимущественно северо-западного простирания (Волынский, Жужелянский, Межреченский, Забугский, Милятинский, Рава-Русский разрывы), которые традиционно интерпретировались как сбросы [6]. Отмеченная выше система разломов является продолжением главной дислокационной зоны Свентокшийских гор (см. рис 1), основные разрывы которой интерпретируются как сдвиговые дислокации [7]. Следует отметить, что структурный рисунок разрывных нарушений в угленосной толще Люблинского

прогиба так же указывает на существование в этом районе зоны правосдвиговых дислокаций северо-западного или «карпатского» простирания [8, 9] (азимут простирания 315–325°).

В 1968 г. В.А. Кушнирук выполнил работы по наиболее полному на настоящий момент обобщению тектонической нарушенности ЛВБ [10]. Базируясь на материалах детального геологоразведочного бурения и геологического картирования тектонических разрывов в горно-эксплуатационных выработках, этот специалист опроверг первоначальные представления о простом строении угольного бассейна и оформил результаты исследований в виде карты разрывных нарушений (большинство из которых – малоамплитудные сбросы, меньшая часть – надвиги) на участке Межреченского месторождения. Впервые был сделан вывод о том, что «тектонические нарушения редко проявляются в виде одной трещины; чаще, они образуют серии или зоны разрывов северо-восточного и северо-западного простирания» [10].

Аналогичные по морфологии зоны малоамплитудных тектонических нарушений задокументи-

рованы в угленосной толще Донецкого бассейна и описаны В.С. Поповым как «тектонополосы» [11]. По определению В.А. Привалова [12], тектонополосы представляют собой плитообразные в пространстве, полосовидные в плане, выдержанные по простиранию объемные зоны концентрированного развития малоамплитудной тектоники сдвигового генезиса. В работе [13] установлено, что контрастность тектонополос на окружающем фоне определяется интенсивностью сдвиговых деформаций, а их пространственное положение связано с ориентировкой векторов главных нормальных напряжений (ось максимальных сжимающих напряжений σ_1 занимает положение биссектрисы острых углов $2\theta = 60 \pm 10^\circ$ на пересечении сопряженных тектонополос).

Такой подход получил достаточно большое практическое применение на территории Донбасса, но не нашел отражения в исследованиях Львовско-Волынского угольного бассейна.

Постановка задачи и методика исследований. С точки зрения цифровой геологической картографии, компьютерная карта является не конечным, а промежуточным продуктом, требующем дальнейшей обработки с выявлением пространственных закономерностей исследуемых геологических объектов [14]. Таким образом, основной задачей выполненных исследований является демонстрация возможностей ГИС для создания реалистичных моделей пространственной локализации и механизмов происхождений тектонической нарушенности ЛВБ с целью решения практических задач, возникающих в связи с подземной разработкой угольных месторождений.

В рамках геотектонической концепции мобилизма, отдельные тектонические плиты представляют собой тонкие оболочки, перемещающиеся по сравнительно пластичной астеносфере. В результате этих процессов в верхних горизонтах земной коры преобладают преимущественно сдвиговые поля напряжений с субгоризонтальным расположением главных нормальных напряжений сжатия σ_1 и растяжения σ_3 . Предварительный анализ тектонического рисунка в пределах отдельных выемочных панелей, наличие субгоризонтальных штрихов скольжения на плоскостях сместителей разрывных нарушений [10], а также результаты тектонофизического картирования в пределах прилегающих территорий [7–9] позволяют предположить в пределах ЛВБ преимущественное развитие деформаций сдвигового характера. Большой объем разномасштабной исходной горнографической документации, касающейся разрывной тектоники: положение сместителей на зарисовках, геологических разрезах и планах горных работ, обусловил необходимость применения комплексного подхода к интеграции

разрозненных графических материалов в единую цифровую модель пространственного расположения тектонических нарушений.

На первом этапе использовались планы горных работ в масштабе 1:5000 для угольных пластов n_7^H , n_7^B , n_8 , n_8^B в пределах горных отводов шахт: «Червоноградская» № 2 («Бендюзька»), «Великомостовская» № 3 («Межреченская»), «Великомостовская» № 4 («Відродження»), «Великомостовская» № 5, «Великомостовская» № 10 («Степова»), входящих в состав Межреченского месторождения (см. рис. 1, а).

Подготовка растровой основы включала: сканирование отдельных ориентированных фрагментов планов горных работ с разрешением 200 dpi, их интеграцию в единое изображение и стандартную калибровку по крестам координатной сетки в условной системе координат. Так как планы горных работ имеют большие размеры (длина более 1,0–1,5 м и ширина порядка 0,7–1,0 м), то их сканирование производилось отдельными фрагментами размером 21×29 см. Растровые изображения отдельного плана включали 10–12 фрагментов со взаимным перекрытием.

Векторизация трасс разрывных нарушений, вынесенных на планы горных работ, проводилась с использованием программного продукта «Geo-Mark» [15] и составила основу первого тематического слоя. В качестве второго тематического слоя использовалась информация о деталях строения тектонических зон, полученная с разномасштабных геологических разрезов и зарисовок. Третий тематический слой содержал, главным образом атрибутивную информацию: синонимичку пласта, тип нарушения, угол падения и азимуты падения сместителя, амплитуду смещения и общую протяженность дизъюнктива. Выбор аппаратных средств обусловлен следующими требованиями к программному продукту:

- возможностью производить автоматический ввод, оперативное редактирование, обновление и визуализированную подачу геологической информации по площади (в виде планов и разрезов);
- реализацией быстрого доступа к базе данных и поиску тематической информации, т.е. классифицировать тектонические нарушения по типу, элементам залегания и протяженности;
- возможностью экспорта данных для построения расчетных тематических показателей.

На втором этапе выполнялся анализ пространственных закономерностей распространения тектонической нарушенности и условий ее возникновения.

Обсуждение результатов исследований. На рис. 2 приведены результаты построения цифровых моделей тектонической нарушенности угольных



Рис. 2. Цифровые модели тектонической нарушенности угольных пластов в пределах горного отвода шахты «Великомостовская» №5: а – n_8^B ; б – n_7^H ; в – n_7^B ; з – n_8 ; 1 – границы шахтного поля и стволы шахты; 2 – речная сеть; 3 – разрывные нарушения; 4 – контуры горных работ по угольным пластам

пластов n_7^H , n_7^B , n_8 , n_8^B в пределах горного отвода шахты «Великомостовская» №5. Контрастно прослеживаются отдельные тектонические нарушения, группирующиеся в системы сопряженных тектонополос, придающих участку характерные для сдвиговых зон геометрические очертания параллелограммовидных тектонических блоков с величиной острого угла $2\theta = 80^\circ$ с отчетливыми признаками вращения по часовой стрелке. Судя по тому, что зоны тектонических нарушений по разным пластам, т.е. на различных гипсометрических уровнях проекционно совпадают (рис. 3): тектонополосы – субвертикальны, а их формирование связано с разлинзовкой массива плоскостями максимальных касательных напряжений в условиях горизонтального положения главной кинематической плоскости $\sigma_1 - \sigma_3$. Результаты натурных наблюдений в полевых условиях и экспериментальных исследований [16, 17] показывают, что в пределах сдвиговых зон возникают не только параллельные основной зоне сдвига Y – сколы, но и сопряженные под углом $\theta = 45^\circ - \varphi/2$ (φ – угол внутреннего трения) к оси сжимающих напряжений σ_1 синтетические и антитетические по отношению к основной сдвиговой зоне сколы

Риделя R_1 и R_2 . По мере уменьшения сопротивления сдвигу и торможения движений по сколам Риделя R_2 , в контуре сдвиговых зон развиваются синтетические P -сколы, которые располагаются симметрично R_1 -сколам относительно оси основной сдвиговой зоны, т.е. под углом $\varphi/2$ к последней. Кроме того, в контуре сдвиговой зоны могут развиваться трещины растяжения (T) с простиранием, параллельным оси сжимающих усилий. В случае перекрытия сдвиговой зоны в фундаменте маломощным чехлом, в последнем также развиваются системы сколовых (сдвиговых) дислокаций. При этом направление сдвига вдоль сколов R_1 , P , Y – того же направления, что и в разломе фундамента, а в R_2 – противоположное. Все сдвиги близки к вертикальным. Сколы R_1 и R_2 составляют с основной зоной смещения углы $\varphi/2$ и $90^\circ - \varphi/2$.

По мере нарастания сдвиговых деформаций в контуре сдвиговой зоны в чехле над основной сдвиговой зоной в фундаменте может происходить вращение отдельных параллелограммовидных тектонических блоков, сформировавшихся между сопряженными сколами Риделя. Для зон правого сдвига вращение блоков будет происхо-

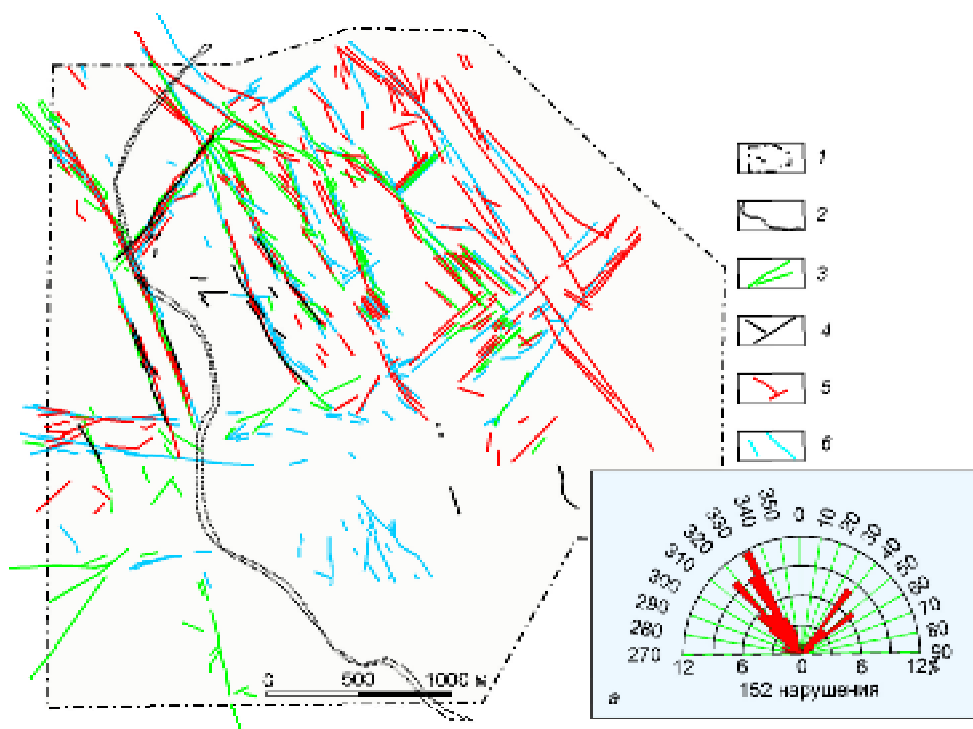


Рис. 3. Совмещенный план разрывных нарушений по шахте «Великомостовская» №5 по всем разрабатываемым угольным пластам на различных гипсометрических уровнях; а – роза-диаграмма распределения максимумов простираний трасс разрывных нарушений в пределах шахты «ВМ» №5; 1 – стволы и границы шахтного поля; 2 – речная сеть; 3–6 – разрывные нарушения, соответственно, по пластам n_8^a , n_8 , n_7^a , n_7^b

дить по часовой стрелке, для левосдвиговых зон – против часовой стрелки [18, 19].

Анализируя структурный рисунок разрывов (см. рис. 3) и распределение максимумов на розах-диаграммах, построенных с учетом данных о простирании 152 трасс разрывных нарушений (рис.3, а), можно сделать вывод о том, что в пределах участка шахты «Великомостовская» №5 в угленосной толще наиболее ярко выражены и преобладают тектонополосы с ориентировками $316\text{--}318^\circ$ и $36\text{--}38^\circ$, которые смещают менее контрастные тектонополосы с ориентировками $332\text{--}334^\circ$ и $52\text{--}54^\circ$. С нашей точки зрения, ориентировка наиболее выраженных и самых молодых тектонополос соответствует положению тектонических разломов фундамента, сформировавшихся в условиях сдвигового поля напряжений (σ_1 : $357\pm 1^\circ$, σ_3 : $87\pm 1^\circ$, σ_2 – вертикальна), как сопряженные под углом $2\theta = 80\pm 1^\circ$, сколы Риделя (R_1 : $317\pm 1^\circ$, R_2 : $37\pm 1^\circ$). При этом, более ранние системы тектонополос с ориентировками r_1 : $333\pm 1^\circ$ и r_2 : $53\pm 1^\circ$ представляют собой ротационные отпечатки в угленосной толще тех же самых разломов фундамента при повороте блоков осадочного чехла по часовой стрелке на угол $\omega = 15\pm 1^\circ$ в условиях прогрессирующего развития правосдвиговых деформаций.

На рис. 4, а представлены результаты картирования трасс разрывных нарушений по пласту n_8^b шахт Межреченского месторождения. Применение

геоинформационных технологий позволило получить наиболее целостное представление о геометрических особенностях распространения тектонической нарушенности в пределах исследуемой территории. Ее основными особенностями является наличие параллелограммовидных блоков, образующихся на пересечении протяженных тектонополос наиболее позднего заложения, которые соответствуют современному положению разломов кристаллического фундамента (рис. 4, б), и их более ранних ротационных отпечатков r_1 и r_2 с углами поворота $\omega = 15\pm 1^\circ$ (рис. 4, в) и $\omega = 25\pm 1^\circ$ (рис. 4, г). Направления подвижек по глубинным разломам, соответствующие наиболее поздней активизации в структуре ЛВБ в режиме зоны правого сдвига на продолжении Свентокшійских дислокаций, показаны на рис. 4, д. Следует отметить, что наряду с ротационными отпечатками синтетических и анти-тетических сколов Риделя, возникших на более ранних этапах деформации, нами зафиксированы соответствующие им по возрасту синтетические P -сколы и трещины растяжения T . Примечательно, что P -сколы и трещины растяжения T практически отсутствуют на современном этапе деформации. Это может свидетельствовать о тенденции перехода трансенсильного режима развития сдвиговой зоны в транспрессионный. Результаты палеореконокструкций ориентировок оси напряжений σ_1 как биссектрисы острого угла 2θ на сопряжении синтетических и антитетических сколов Риделя, по-

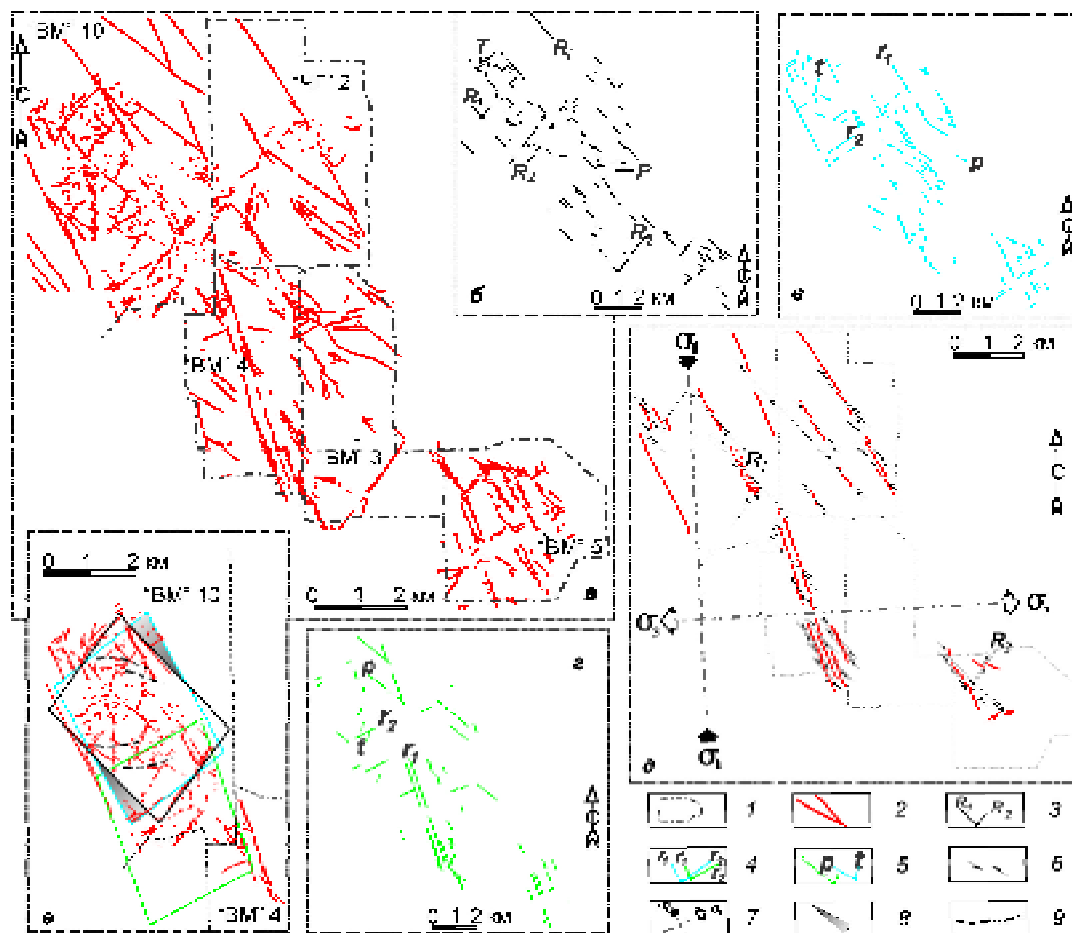


Рис. 4. Результаты картирования и интерпретации трасс разрывных нарушений по пласту n_8 шахт Межреченского месторождения как зоны правого сдвига на продолжении Свентокшйских дислокаций с правым вращением блоков: *a* – результаты картирования; *b* – современное положение разломов кристаллического фундамента; *c* – ротационный отпечаток r_1 и r_2 с углами поворота $\omega = 15 \pm 1^\circ$; *d* – ротационный отпечаток r_1 и r_2 с углами поворота $\omega = 25 \pm 1^\circ$; *e* – направления подвижек по глубинным разломам в режиме зоны правого сдвига; *f* – детализация (участок ш. «ВМ» №10 и «ВМ» №4) ротационных отпечатков синтетических и антитетических сколов раннего и более позднего заложения в режиме правосдвиговой активизации с образованием участков локального сжатия и растяжения и характерной складчатостью; *г* – границы шахтных полей; *2* – разрывные нарушения; *3* – синтетические и антитетические сколы Риделя наиболее позднего этапа деформации; *4* – ранние ротационные отпечатки r_1 и r_2 синтетических и антитетических сколов Риделя; *5* – синтетические P-сколы и трещины растяжения *T*; *6* – направление сдвига; *7* – положение осей сжатия σ_1 и растяжения σ_3 ; *8* – участки локального сжатия; *9* – ось складки с 3-СЗ (В-ЮВ) ориентировкой

звolyют констатировать практически субмеридиональную ориентацию вектора сжатия σ_1 , который в условиях сдвигового поля напряжений привел к правосдвиговой активизации зоны, в пределах которой находится ЛВБ. При этом по мере развития деформаций правого сдвига в угленосной толще ЛВБ развивалось существенное правое вращение блоков (до 25°) в результате которого в угленосной толще между секторами локального сжатия сформировались складки с 3-СЗ (В-ЮВ) ориентировкой осей (рис. 4, *e*).

Выводы

1. Продемонстрирована возможность создания пространственной модели тектонической нарушенности на примере Межреченского месторождения ЛВБ с возможностью последующей интеграции полученных ГИС-компонент в системы управления рациональным и безопасным

ведением эксплуатационных работ на глубоких горизонтах бассейна.

2. Установлены закономерности пространственного положения зон тектонических нарушений и реконструирован механизм их возникновения в связи с развитием в районе исследований протяженной зоны правосдвиговых дислокаций северо-западной ориентировки при субмеридиональном положении оси сжатия σ_1 .
3. Разрывные нарушения в угленосной толще ЛВБ представляют собой проекционные и ротационные отпечатки R_1 , R_2 и P-сколов (сдвигов) и трещин растяжения *T*, формирующихся в контуре сдвиговых зон.
4. В процессе сдвиговой деформации зафиксировано вращение отдельных тектонических блоков с углами 15° и 25° , с эффектами которого

следует связывать формирование вторичной складчатости пластов угленосной толщи.

1. *Лизун С.О., Іванців О.Є., Дудок І.В. та ін.* Закономірності розподілу метану у кам'яновугільних басейнах України та перспективи його видобутку та використання // Геологія і геохімія горючих копалин. — 2001. — № 2. — С. 122–127.
2. *Узіюк В.І., Бик С.І., Ільчишин А.В.* Газогенераційний потенціал кам'яновугільних басейнів України // Там само. — С. 110–121.
3. *Hippolyte J., Badescu D., Constantin P.* Evolution of the migration direction of the Carpathian belt during its collision with the East-European plate // *Tectonics*. — 1999. — № 18. — P. 1120–1138.
4. *Струєв М.И., Ісаєв В.И., Шпакова В.Б. и др.* Львовско-Волинський каменноугільний басейн. Геолого-промисловий очерк. — Київ: Наук. думка. — 1984. — 272 с.
5. *Бубняк І., Бубняк А., Кілін І., Попп І.* Структурно-сидиментологічні дослідження Добротівських відкладів Передкарпатського прогину // *Праці наук. товариства ім. Шевченка. Геол. збірник*. — Т. 5. — Львів, 2001. — С. 84–93.
6. *Бондарчук В.Г.* Тектоніка території Української РСР та Молдавської РСР. — Київ: Вид-во АН УРСР, 1959. — 219 с.
7. *Gee D.G., Zeyen H.J.* Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents. — Upsala: Europrobe - Upsala University, 1996. — 138 p.
8. *Ярошевский В.* Тектоника разрывов и складок. — М.: Недра, 1981. — 245 с.
9. *Zelichowski A.M.* Rozwoj budowy geologicznej obszaru między Gorami Swietokrzyskimi I Bogiem // *Biul. Inst. Geol.* — 1972. — P. 252–265.
10. *Кушнирук В.А.* Геологическое строение и тектонические особенности Львовско-Волинского каменноугільного бассейна. — Київ: Наук. думка, 1968. — 132 с.
11. *Попов В.С.* Малоамплитудные разрывные нарушения в угольных пластах Донецко-Макеевского геолого-промышленного района // *Геол. журн.* — 1979. — **39**, № 6. — С. 19–31.
12. *Привалов В.А.* О прогнозе тектоногазодинамической обстановки угольного пласта // *Изв. высш. уч. зав.: Геология и разведка*. — 1985. — №11. — С. 49–55.
13. *Привалов В.А.* Закономерности распространения и эволюции тектонической нарушенности в Донецко-Макеевском районе Донбасса // Там же. — 1990. — №3. — С. 46–55.
14. *Лобасов О.П., Бардін О.О., Фенота П.О.* Можливості просторового аналізу структури нафтогазоносних басейнів на прикладі нижньокам'яновугільних відкладів Срібненської депресії (Дніпровсько-Донецька западина) // *Геоінформатика*. — 2006. — № 3. — С. 73–75.
15. *Глухов О.О.* Проблеми і принципи проектування геоінформаційних систем // Там само. — 2002. — №1. — С. 89–94.
16. *Sylvester A.G.* Strike-slip faults // *Bull. Geol. Soc. Am.* — 1988. — **100**. — P. 1666–1703.
17. *Allen Ph.A., Allen J.R.* Basin analysis. Principles and applications. — Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990. — 451 p.
18. *Kelly P.G.* Strike-slip faulting and block rotations at Kilve, Somerset // *Geoscientist* — 1996. — № 6. — P. 14–17.
19. *Привалов В.А.* Вращение блоков и сценарий тектонической эволюции Донецкого бассейна // *Геологія і геохімія горючих копалин*. — 1998. — № 4. — С. 142–158.

Поступила в редакцію 31.01.2007 г.