

УДК 551.24:553.94:477.61/62

Инж. ДЬЯЧЕНКО Н. А. (УкрНИМИ НАН Украины), докт. геол. наук ПРИВАЛОВ В. А. (ДонНТУ), канд. геол.-мин. наук ПАНОВА Е. А. (УкрНИМИ НАН Украины)

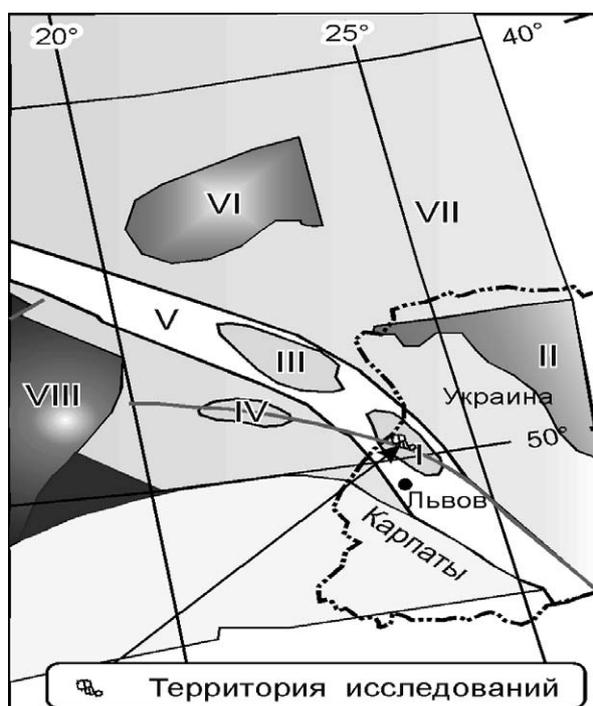
## СДВИГОВАЯ ТЕКТНИКА И ВРАЩЕНИЕ БЛОКОВ В ПРЕДЕЛАХ МЕЖРЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛЬВОВСКО-ВОЛЫНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

Львовско-Волынский бассейн (ЛВБ) является вторым по значимости угольным регионом Украины, промышленное освоение которого начато в 50-х годах прошлого столетия. В пределах бассейна, по-прежнему, остаются перспективные участки (например, участок «Великомостовский» № 10 в пределах горного отвода шахты «Степная») для промышленной разработки высококачественного угля. В последние годы исследуемый регион вызывает так же особый интерес в связи с возможностями для 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.

Исследованию тектоники ЛВБ и прилегающих территорий посвящены работы Х. Тейссейре, М. Тетяева, П. Шульги, В. Клушина, В. Кушнирука, О. Ступки, М. Павлука, А. Желиховского, В. Ярошевского, И. Бубняка, О. Бубняка.

В геоструктурном отношении территория исследований расположена на юго-западной периферии Восточно-Европейского кратона (рис. 1). ЛВБ входит в состав протяженной структуры Транс-Европейской сутурной зоны (ТЕСЗ) [3], разделяющей докембрийскую литосферу ВЕК с мощной корой и палеозойские-альпийские тонкокорые мобильные пояса Центральной и Западной Европы.



**Рис. 1.** Геоструктурная позиция Львовско-Волынского бассейна: I – Львовско-Волынский каменноугольный бассейн, II – Украинский щит, III – Люблинский каменноугольный бассейн, IV – Свентокшийский массив и одноименная зона дислокаций, V – Транс-Европейская сутурная зона, VI – Белорусско-Мазовецкая антеклиз, VII – Восточно-Европейский кратон, VIII – герциниды Западной Европы.

В приповерхностной области ТЕСЗ перекрыта цепочкой осадочных бассейнов, среди которых выделяются палеозойские прогибы Люблинского и Львовско-Волынского каменноугольных бассейнов, разделенные Кумовской седловиной (см. рис. 1). На фоне общего полого западного падения отложений карбона под углом  $2-3^\circ$  в пределах бассейна наблюдается волноподобный характер залегания каменноугольных отложений в виде разделенных поднятиями брахисинклиналей 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, Межреченский, Забугский, Милятинский, Рава-Русский разрывы), которые традиционно интерпретировались как сбросы или взбросы (например, Жужелянский разрыв) [6].

Отмеченная выше система разломов является продолжением главной дислокационной зоны Свентокшійских 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  $315-325^\circ$ ).

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 представил 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 задокументированы в угленосной толще Донецкого бассейна и впервые 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 работах [12–14] установлено, что контрастность тектонополос на окружающем фоне определяется интенсивностью сдвиговых деформаций, а их пространственное положение связано с ориентировкой векторов главных нормальных напряжений, при этом, ось максимальных сжимающих напряжений  $\sigma_1$  занимает положение биссектрисы острых углов  $2\theta = 52...78^\circ$  (среднее значение  $60^\circ$ ) на пересечении сопряженных тектонополос (рис. 2).

В контуре тектонополос развиты различные морфологические типы малоамплитудных нарушений, чье простирание не всегда совпадает с ориентировкой тектонополос, однако по мере приближения к крупным региональным разрывам частота встречи малоамплитудной нарушенности в контуре тектонополос заметно возрастает.

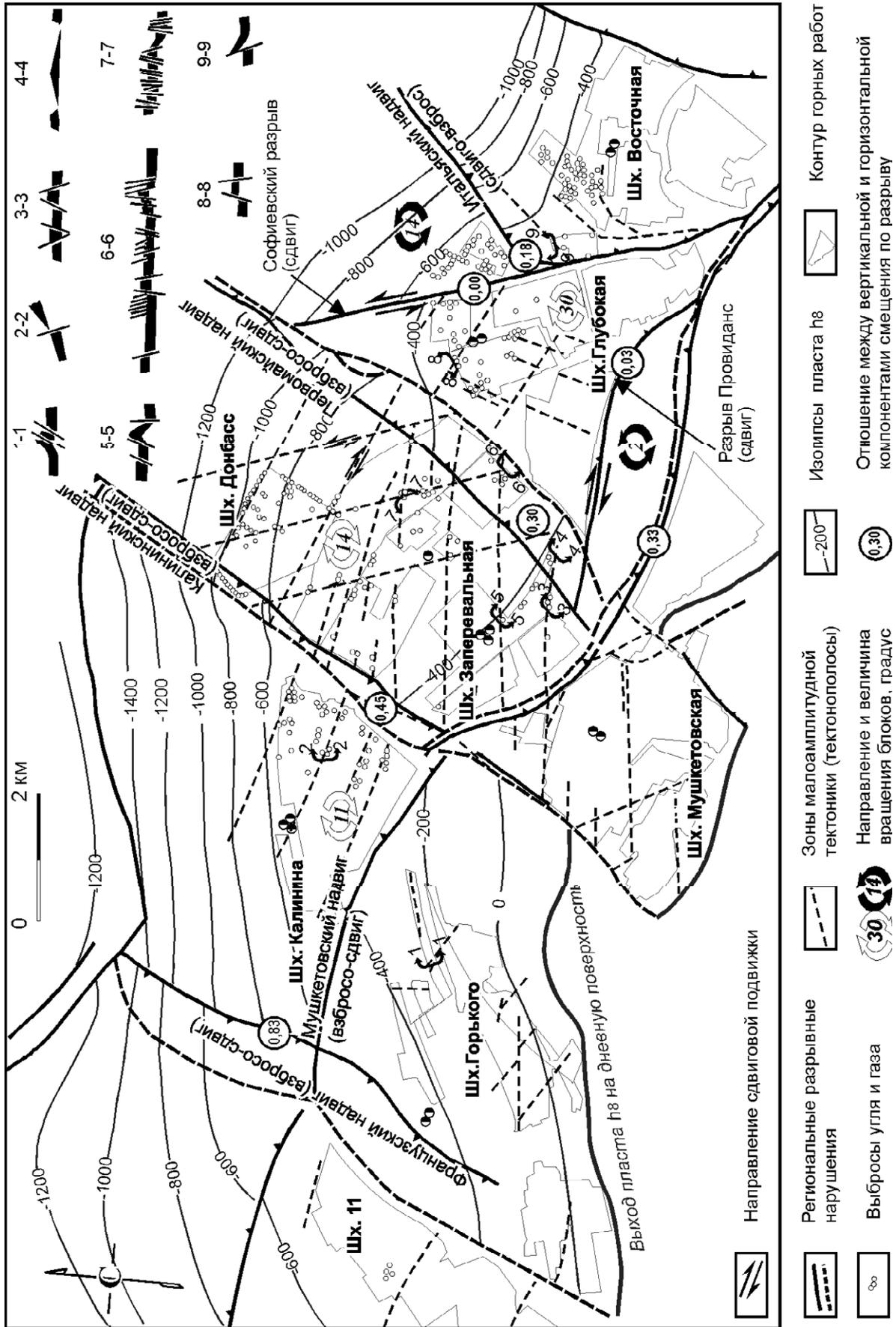


Рис. 2. Гипсометрический план угольного пласта  $h_8$  (Донецко-Макевский район Донбасса) [13, 14].

На рис. 2 изображен гипсометрический план пласта  $h_8$  в пределах Донецко-Макеевского района Донбасса, на котором представлены результаты исследований [13, 14]: пространственного положения и генезиса зон малоамплитудной тектоники (тектонополос), возникших в условиях сдвигового поля напряжений (поле шх. им. М.И. Калинина - ось сжатия  $\sigma_1$ : 115...125°, ось растяжения  $\sigma_3$ : 25...35°,  $\sigma_2$  - субвертикальна; поля шахт им. газеты «Донбасс» и «Заперевальная» - ось сжатия  $\sigma_1$ : 120...130°, ось растяжения  $\sigma_3$ : 30...40°,  $\sigma_2$  - вертикальна; поля шх. Глубокая - ось сжатия  $\sigma_1$ : 135...145°, ось растяжения  $\sigma_3$ : 45...55°,  $\sigma_2$  - вертикальна); кинематики региональных тектонических нарушений, являющихся, главным образом, взбросо-сдвиговыми формами с преобладанием взбросовой компоненты смещения (Французский надвиг), сдвиговой компоненты смещения (Калининский, Первомайский, Мушкетовский разрывы) или практически чистыми сдвиговыми дислокациями (разрывы Софиевский и Провиданс); расчетных оценок интенсивности вращения блоков.

Такой подход успешно применен на территории Донбасса [13, 14], но не нашел отражения в исследованиях Львовско-Волынского угольного бассейна.

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  $\sigma_1$  и растяжения  $\sigma_3$ .

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 горно-графической 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 1:5 000 для угольных пластов  $n_7^H$ ,  $n_7^6$ ,  $n_8$ ,  $n_8^6$  в пределах горных отводов шахт: «Червоноградская» № 2, («Бендюжская»), «Великомостовская» № 3, («Межреченская»), «Великомостовская» № 4, («Возрождение»), «Великомостовская» № 5, «Великомостовская» № 10, («Степная»), входящих в состав Межреченского месторождения. 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), поэтому их сканирование производилось отдельными фрагментами размером 21x29 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 «ГеоМарк» [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: синонимы пласта, тип нарушения, угол падения и азимуты падения сместителя, амплитуду смещения и общую протяженность дизъюнктива.

Выбор аппаратных средств обусловлен следующими требованиями к программному продукту: а) возможностью производить автоматический ввод, оперативное редактирование, обновление и визуализированную подачу геологической информации по площади (в виде

планов и разрезов); б) реализацией быстрого доступа к базе данных и поиску тематической информации, т.е. классифицировать тектонические нарушения по типу, элементам залегания и протяженности; в) возможностью экспорта данных для построения расчетных тематических показателей. На втором этапе проводился анализ пространственных закономерностей распространения тектонической нарушенности и условий ее возникновения.

На рис. 3 приведены результаты построения цифровых моделей тектонической нарушенности угольных пластов  $n_7^H$ ,  $n_7^6$ ,  $n_8$ ,  $n_8^6$  в пределах горного отвода шахты «Великомостовская» № 5.

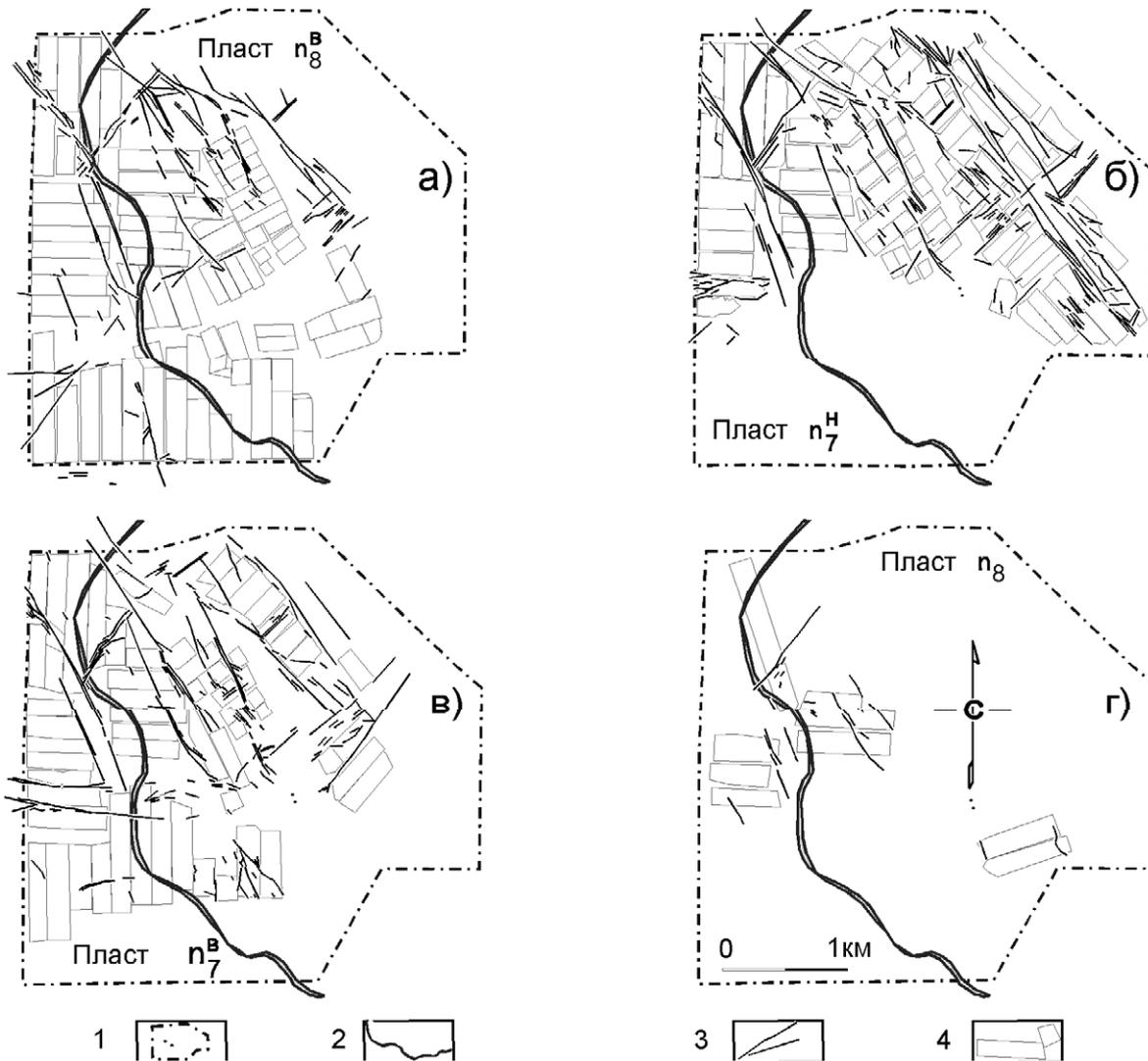
Контрастно прослеживаются отдельные тектонические нарушения, группирующиеся в системы сопряженных тектонополос, придающих участку характерные для сдвиговых зон геометрические очертания параллелограммовидных тектонических блоков с величиной острого угла  $2\theta = 76^\circ$  с отчетливыми признаками вращения отдельных блоков по часовой стрелке.

Судя по тому, что зоны тектонических нарушений по разным пластам, т.е. на различных гипсометрических уровнях проекционно совпадают: 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 натуральных 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  $\theta = 45^\circ - \varphi/2$  ( $\varphi$  — угол внутреннего трения) к оси сжимающих напряжений  $\sigma_1$  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 простираем, 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 происходить по часовой стрелке, для левосдвиговых зон – против часовой стрелки [18, 19].

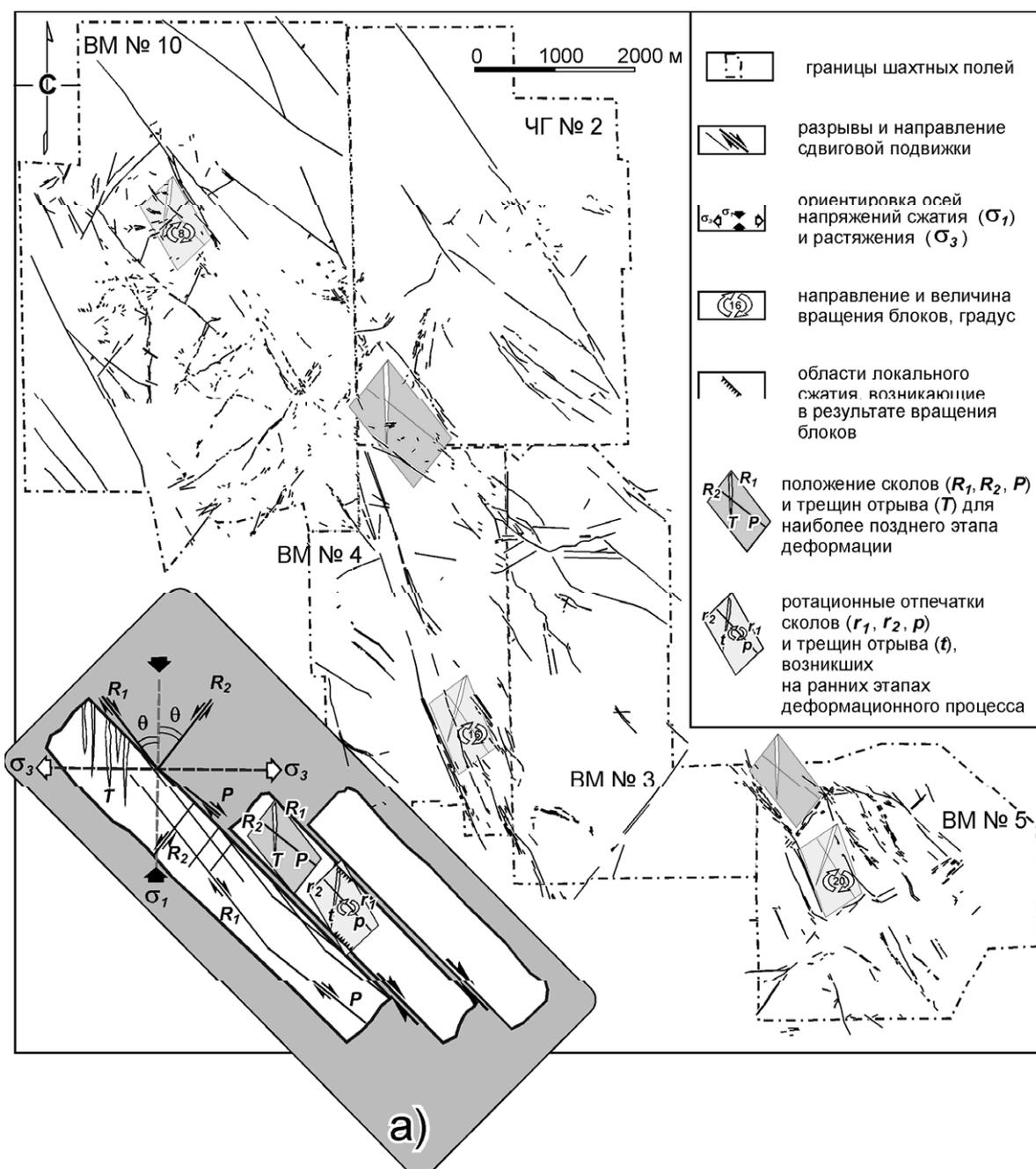
На рис. 4 представлены результаты картирования трасс разрывных нарушений по пласту  $n_8^6$  шахт Межреченского месторождения. Применение геоинформационных технологий позволило получить наиболее целостное представление о геометрических особенностях распространения тектонической нарушенности в пределах исследуемой территории. Ее основными особенностями является наличие параллелограммовидных блоков, образующихся на пересечении протяженных тектонополос наиболее позднего заложения, которые соответствуют современному положению разломов кристаллического фундамента. Последние развиваются в условиях сдвигового поля напряжений ( $\sigma_1 : 0 \pm 2^\circ$ ,  $\sigma_3 : 90 \pm 2^\circ$ ,  $\sigma_2$  – вертикальна), как сопряженные под углом  $2\theta = 76 \pm 2^\circ$ , сколы Риделя  $R_1$ :  $322 \pm 2^\circ$ ,  $R_2$ :  $38 \pm 2^\circ$ ) и их более ранних ротационных отпечатков  $r_1$  и  $r_2$ .



**Рис. 3.** Цифровые модели тектонической нарушенности угольных пластов в пределах горного отвода шахты «Великомостовская» № 5: а -  $n_8^B$ , б -  $n_7^H$ , в -  $n_7^B$ , г -  $n_8$ .

1 – границы шахтного поля и стволы шахты, 2 – речная сеть, 3 – разрывные нарушения, 4 – контуры горных работ по угольным пластам.

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, а. Следует отметить, что наряду с ротационными отпечатками синтетических и антитетических сколов Риделя ( $r_1$  и  $r_2$ ), 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, что может свидетельствовать о тенденции перехода трансензионного режима развития сдвиговой зоны в транспрессионный. Результаты палеореконструкций ориентировок оси напряжений  $\sigma_1$  как биссектрисы острого угла  $2\theta$  на сопряжении синтетических и антитетических сколов Риделя, позволяют констатировать практически субмеридиональную ориентацию вектора сжатия  $\sigma_1$ , 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  $20^\circ$ ) в результате которого в угленосной толще между секторами локального сжатия сформировались складки с З-СЗ (В-ЮВ) ориентировкой осей.



**Рис. 4.** Результаты картирования и интерпретации трасс разрывных нарушений по пласту  $n_8^6$  шахт Межреченского месторождения как зоны правого сдвига на продолжении Свентокшійских дислокаций с правым вращением блоков.

На врезке *a)* показана модель формирования зон тектонической нарушенности в осадочном чехле (тектонополос), которые соответствуют современному положению глубинных разломов кристаллического фундамента в виде синтетических и антитетических сколов Риделя ( $R_1$  и  $R_2$ ), синтетических  $P$ -сколов и трещин растяжения  $T$ , возникших в контуре сдвиговой зоны, а также тектонополос более раннего заложения  $r_1, r_2, p, t$ , представляющих собой ротационные отпечатки разломов фундамента с углами поворота  $\omega$  от 8 до 20°.

### 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  $\sigma_1$ .

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  $8^\circ$  и  $20^\circ$ , с эффектами которого следует связывать формирование вторичной складчатости пластов угленосной толщи.

### Литература

1. Лизун С.О., Иванців О.Є., Дудок І.В., Наушко І.М., Кухар З.Я. 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 // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2001. – № 2. – 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. Струев М.И., Исаев В.И., Шпакова В.Б. и др. Львовско-Волынский каменноугольный бассейн. Геолого-промышленный очерк. К.: Наук. думка.- 1984. –272 с.
5. Бубняк І., Бубняк А., Кілін І., Попп І. Структурно-седименталогічні дослідження Добротівських відкладів Передкарпатського прогину // Праці наукового товариства і. Шевченка. Геологічний збірник. – Т. 5. Львів. - 2001. - С.84-93.
6. Бондарчук В.Г. Тектоніка території Української РСР та Молдавської РСР. К.: Вид. 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-Волынского каменноугольного бассейна. К.: Наук. думка. - 1968. - 132 с.
11. Попов В.С. Малоамплитудные разрывные нарушения в угольных пластах Донецко-Макеевского геолого-промышленного района // Геол. журнал. - 1979. - Т. 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 развития малоамплитудной тектонической нарушенности угольных пластов и ее прогнозирование (на примере Донецко-Макеевского района Донбасса). Автореф. дис... канд. геол. –мин. наук. – Ленинград: ВСЕГЕИ. - 1987. – 23 с.
14. Привалов В.А. Закономерности распространения и эволюции тектонической нарушенности в Донецко-Макеевском районе Донбасса // Изв. высш. уч. зав.: Геология и разведка. - 1990.- №3.- С. 46-55.
15. Глухов О.О. Проблеми і принципи проектування геоінформаційних систем // Геоінформатика.- 2002. - №1- С. 89-94.
16. Sylvester A.G. Strike-slip faults // Bull. Geol. Soc. Am. – 1988. – Vol. 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.

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