ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.24:553.94:622.83

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

ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ДЕФОРМАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И РАСШИФРОВКИ ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ В УСЛОВИЯХ ПОДРАБОТКИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Подземная добыча полезных ископаемых, в частности, разработка угольных пластов в Донбассе, приводит к нарушению равновесного состояния массива горных пород. В результате выемки ископаемого, зависающие породы горного массива теряют опору, слои горных пород над выработанным пространством прогибаются, деформации распространяются до земной поверхности и вызывают различные повреждения коммуникаций, зданий, сооружений и т.д.

Одна из особенностей процессов, обусловленных техногенным воздействием на массив горных пород, заключается в том, что, как правило, видимые соответствующие изменения проявляются не сразу, а имеют затяжной, эволюционный характер [1, 2].

Теоретическими и экспериментальными исследованиями [3 - 6] установлено, что оседания горных пород непостоянны во времени и в пространстве и зависят от взаимодействия большого количества природных и техногенных факторов.

При анализе условий, оказывающих влияние на характер и интенсивность деформаций земной поверхности над выработанным пространством, необходимо учитывать большое число факторов. Нередко эти факторы лишь в косвенной форме отражают стороны изменений условий формирования техногенного рельефа.

Одной из основных и актуальных задач, возникающих в условиях увеличения техногенной нагрузки городских территорий, является оценка динамики развития техногенного рельефа и сопряженных деформаций земной поверхности подрабатываемых территорий.

В данной работе предпринята попытка на основе выполненных натурных геодезических наблюдений с помощью морфоструктурного и морфометрического методов, выявить зоны деформаций земной поверхности над выработанным пространством и проанализировать влияние отдельных природных и техногенных факторов на характер этих деформации в условиях многократной подработки; разработать концепцию картирования динамики «рельефа оседаний» и интерпретации его генетической природы, используя методы современного тектонического анализа, с целью правильной оценки инженерно-геологических условий при решении вопросов строительства и экологической безопасности на локальном и региональном уровне.

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что реальный массив горных пород, представляет собой сложную иерархически - блочную среду, каждой структурной единице которого присущи свои деформационные характеристики.

Вместе с тем, при решении вопросов освоения угольных месторождений, строительства и экологической безопасности возникает необходимость изучения динамики процесса формирования техногенного рельефа массива горных пород.

В реальных условиях большая часть территорий, характеризующихся большой техногенной нагрузкой, как правило, подрабатывается многократно и в условиях сложного тектонического взаимодействия. В этом случае, оседания земной поверхности не всегда соответствуют расчетным [2], особенно при отработке участков с надвиговым перекрытием одноименных пластов, характерных для горно-геологических условий Донецко-Макеевского района Донбасса.

Основная стратегия любого анализа – поиск комбинаций и закономерностей сопряженного и взаимообусловленного развития тех или иных параметров, характеризующих изучаемый процесс, их упорядоченное распределение и оценка в виде информационных карт.

Учитывая вышеизложенное, решение поставленной задачи возможно при выявлении устойчивых закономерностей пространственного и временного характера, основу которых составляет выделение «локальных неоднородностей» общей структуры за определенные моменты времени, которым присуща пространственная повторяемость [1].

Проблема сдвижения горных пород и деформаций земной поверхности, обусловленных подработкой горного массива, традиционно относится к геотехническим дисциплинам и находится в поле пристального внимания специалистов по горному и строительному делу, геомехаников, маркшейдеров: Гавриленко Ю.Н. [5, 7], Гуляев Н.Ю. [6]. В последние годы рассматриваемая проблема привлекла внимание специалистов геологического профиля и экологов. Отдельные аспекты этой проблематики рассматривались в работах [4, 8, 9, 10]. Между тем, существенную роль в развитии процессов деформирования земной поверхности при подработке играют геологические факторы. Значение этих факторов предельно велико и при прочих равных условиях является преобладающим при прогнозировании аномального протекания деформационных процессов на подработанных территориях. С нашей точки зрения неравномерное развитие деформационных процессов во многом обусловлено мозаично-блоковой структурой угленосных отложений и пространственно унаследованными зонами деформационных аномалий, которые связаны как с тектоническими нарушениями, так и литологическими контрастами в областях выхода мощных пластов песчаников на дневную поверхность.

Идея пространственного анализа в данной работе объединяет целый ряд геологических понятий и методов, применяемых в ходе решения поставленной задачи.

Данные об оседаниях поверхности базируются на многолетних инструментальных наблюдениях, выполняемых по опорным профилям. По результатам наблюдений на отдельной точке получается только зависимость параметра для этой точки во времени, а результаты измерений на наблюдательной линии позволяют воспроизвести картину развития деформаций земной поверхности по профильной линии с использованием разреза породного массива [2].

В данной работе для анализа деформированного состояния участка земной поверхности интерес представляют амплитуды вертикальных движений дневной поверхности над выработанным пространством, их динамика во времени и в пространстве. Использование ГИС позволяет обработать пространственно координированную информацию, построить картограммы реальных поверхностей с учетом данных полевых наблюдений, проконтролировать динамику процесса с учетом техногенного воздействия и получить результаты в виде карт.

Таким образом, принципиальное отличие предлагаемого в данной публикации метода анализа натурных наблюдений за оседанием земной поверхности $\eta_i(x\ ,\ y)$

состоит в построении картограмм модулей градиентов grad $\eta_t(x, y)$, отражающих интенсивность деформационных процессов и их пространственное распределение.

Сформулированные подходы проиллюстрированы результатами исследований, проводившихся на участке горного отвода шахты им. М.И. Калинина (Донецко-Макеевский горнопромышленный район), в пределах которого горные работы ведутся в условиях отработки угольных пластов как в висячем, так и лежачем крыле Французского надвига.

Анализ исходных геологоразведочных данных и маркшейдерской информации служит основой информационного обеспечения в ходе составления базовой карты исследуемого участка (рис. 1). Карта обобщает данные множества факторов, находящихся в сложной взаимосвязи и обладает высокой степенью достоверности. В ней заключены сведения пространственного положения исследуемого участка, тектоники, месторасположения горных работ, профильные линии геодезических наблюдений и геологических разрезов по разведочным скважинам.

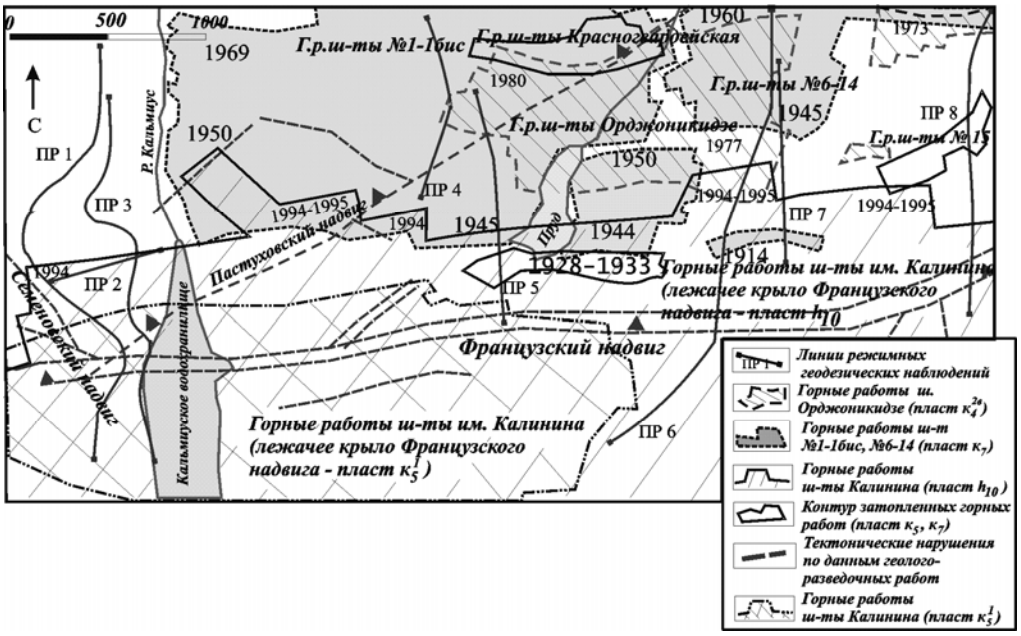

Рис. 1. Базовая карта исследуемого участка горного отвода шахты им. М.И. Калинина (Донецко-Макеевский углепромышленный район).

В данной работе для построения картограммы оседаний земной поверхности с последующим графическим отображением в виде изолиний, предлагается использовать интерполирующую функцию, задача которой найти такую поверхность z = f(x,y), которая проходит непосредственно через точки наблюдений и отражает величину оседаний земной поверхности. Поскольку база данных содержит данные маркшейдерских наблюдений за оседанием земной поверхности по опорным профилям, то при построении основным методом, обеспечивающим вычисление показателей оседаний на всем участке, является метод мультиквадриковой интерполяции [11].

Опыт исследователей по оценке реализации методов интерполяции на ЭВМ [12] показывает, что вышеупомянутый метод дает наиболее приемлемые результаты для практики как по времени, так и по точности.

В качестве числовых характеристик выступают оседания высоты площадок, определяющие линию опорного профиля наблюдений, в зависимости от географических координат и времени наблюдений. Распределение изолиний позволяет судить о регулярности или нерегулярности вертикальных деформаций, их площадном ориентировании, т.е. провести предварительную оценку «рельефа оседаний» земной поверхности за фиксированный временной период.

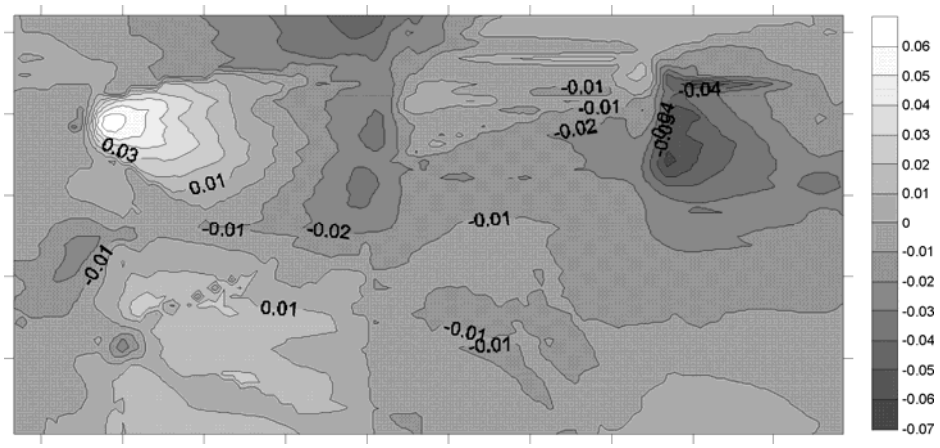

Рис. 2. Карта «рельефа оседаний» в изолиниях на исследуемом участке.

С целью интерпретации и изучения аномального «поведения» локальных участков «рельефа оседаний» земной поверхности, используется графический метод построения и обработки профилей оседаний [2] в совокупности с одним из методов пространственного анализа – построение «трендовой поверхности» оседаний земной поверхности по опорным профильным линиям с последующим их наложением на геологический разрез породного массива. Этот метод наиболее реализуем на ЭВМ. Он основан на разложении явления на закономерную (тренд) и случайную составляющую. Закономерной является та, которая обусловлена физическими связями.

Следовательно, анализ «линии тренда» n-го порядка позволит выявить основные тенденции количественных и качественных изменении вертикальных деформаций земной поверхности в зависимости от географических координат.

Многолетними инструментальными наблюдениями установлено, что важнейшими геологическими факторами, обуславливающими возникновение сосредоточенных знакопеременных деформаций, являются структурно-тектонические и литологические особенности строения массива горных пород. Наличие разрывных нарушений предопределяет строение со слабыми связями, а плоскости сместителей являются поверхностями по которым может происходить смещение слоев горных пород [13]. Следует учитывать, что наличие знакопеременных деформации свидетельствует о благоприятных условиях для образования ослабленных зон интенсивной трещиноватости пород массива в зоне влияния тектонических нарушений. Верхние слои массива горных пород, сложенные песчаниками и глинистыми отложениями, а также зоны выветривания пород угленосной толщи при образовании мульды оседания деформируются, как правило, не упруго и пластично [2]. В то же время, в условиях многократной подработки массива горных пород слои крепких пород, например песчаника - жестких на изгиб, могут испытывать рост микротрещин с последующим разделением по поверхностям микроподвижек. Следовательно, циклическое нагружение создает благоприятные

условия для концентрации напряжений в наиболее слабых точках породы, что приводит к ее разрушению при существенно меньших нагрузках, чем в статических условиях [14].

Не вызывает сомнения тот факт, что деформации, возникающие при подработке тектонических нарушений (в лежачем крыле дизъюнктива надвигового типа) получают реализацию в формировании ступеньки или уступа [15]. Напротив, подработка в висячем крыле приводит к квазиплавному оседанию земной поверхности с некоторым асимметричным сокращением мульды оседания. Разнообразие вышеуказанных геологических факторов придает кривым оседания своеобразную изрезанность, интерпретация которых возможна при наложении профиля оседаний на геологический разрез с последующей расшифровкой генезиса аномальных участков – отклонений от «линии тренда» (рис. 3).

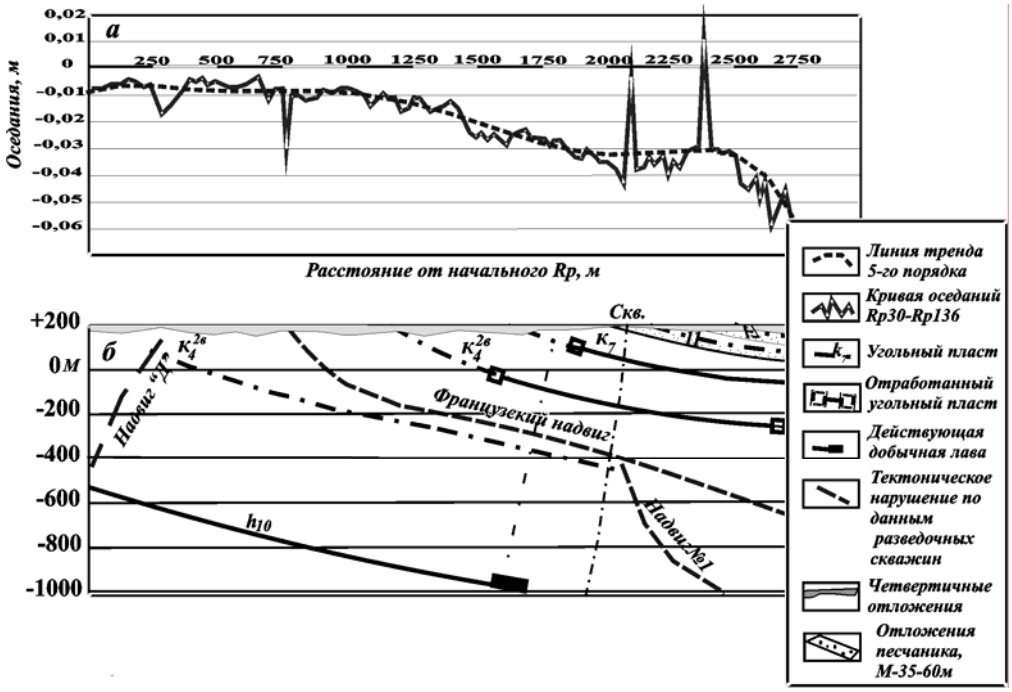

Рис. 3. Основные количественные изменения вертикальных деформации земной поверхности в зависимости от географических координат и тектоно-литологических характеристик исследуемого участка: *а* – график оседаний земной поверхности; *б* - геологический разрез по профильной линии геодезических наблюдений.

Следующим этапом обработки исходной информации является применение метода градиентных моделей и, как следствие, построение карты модулей градиентов скалярного поля высот [16] в изолиниях, которые отражают интенсивность деформационных процессов на выбранном участке.

Этот метод позволяет выделить однородные участки поверхности по значениям модулей, соответствующих тангенсу угла ската в данной точке и при построении карты оконтурить зоны с равномерными наклонными участками. Линии сгущения изолиний будут свидетельствовать об аномальности участка (рис. 4).

Сопоставление полученных карт модулей градиентов за различные временные отрезки, позволяет выделить участки, для которых характерна пространственная повторяемость проявления деформационных процессов.

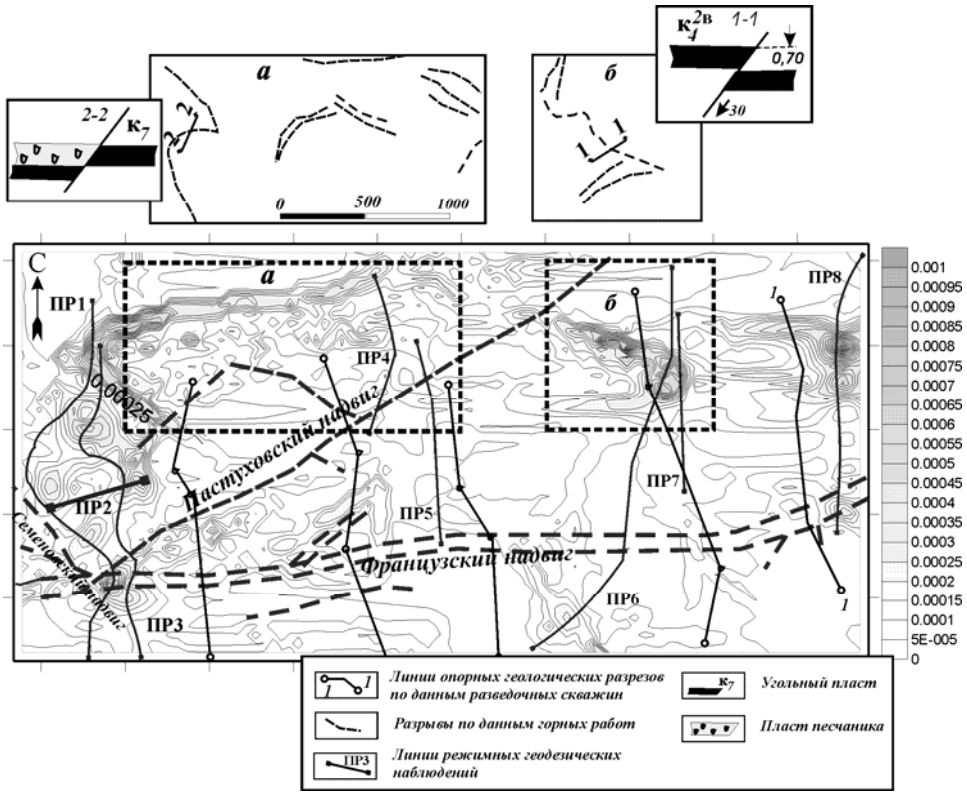

Рис. 4. Карта модулей градиентов оседаний земной поверхности за 6 месяцев с детализацией фактического тектоно-литологического строения: а – по данным горных работ по угольному пласту $к_7$; б – по данным горных работ по угольному пласту $к_4^{2в}$, и геологическим разрезам, составленным в результате натурных наблюдений в горных выработках (1-1, 2-2).

Деформации земной поверхности в значительной степени неоднородны. Максимального значения они достигают на участках, ослабленных тектоническими нарушениями, в местах проведения горных работ, на выходах мощных пластов песчаника и др. Наиболее вероятными объектами разрядки свободных и быстрых вертикальных движений земной поверхности являются зоны разрывных нарушений и морфоструктурные узлы. Возникает необходимость выявления геолого-геоморфологических индикаторов для детализации тектонического строения в пределах территории исследований [17].

Для решения этой задачи был использован морфометрический анализ. Представление рельефа земной поверхности в виде скалярного поля высот, заданного массивами плановых и высотных координат точек z(x, y), позволяет применить процедуру тренд-анализа, то есть разделить скалярное поле высот на аппроксимирующую поверхность – тренд R(x, y) и поверхность остатка L(x, y). Поверхность тренда подбирается с использованием полиномиальной регрессии, а коэффициенты уравнения тренда определяются в результате решения систем уравнений по методу наименьших квадратов. Полученная поверхность R(x,y) отражает морфоструктурный план формирования рельефа под влиянием основных тектонических зон (рис. 5, а). Поверхность L (x, y) отражает, главным образом, неотектонические и эрозионные процессы, контрастно проявляющиеся в пределах тектонических нарушений (рис. 5, б). Для выявления дискретных разрывов необходимо произвести дифференцирование поверхности остатка в результате построения поверхности модуля градиента grad L (x, y) в изолиниях (рис. 5, в).

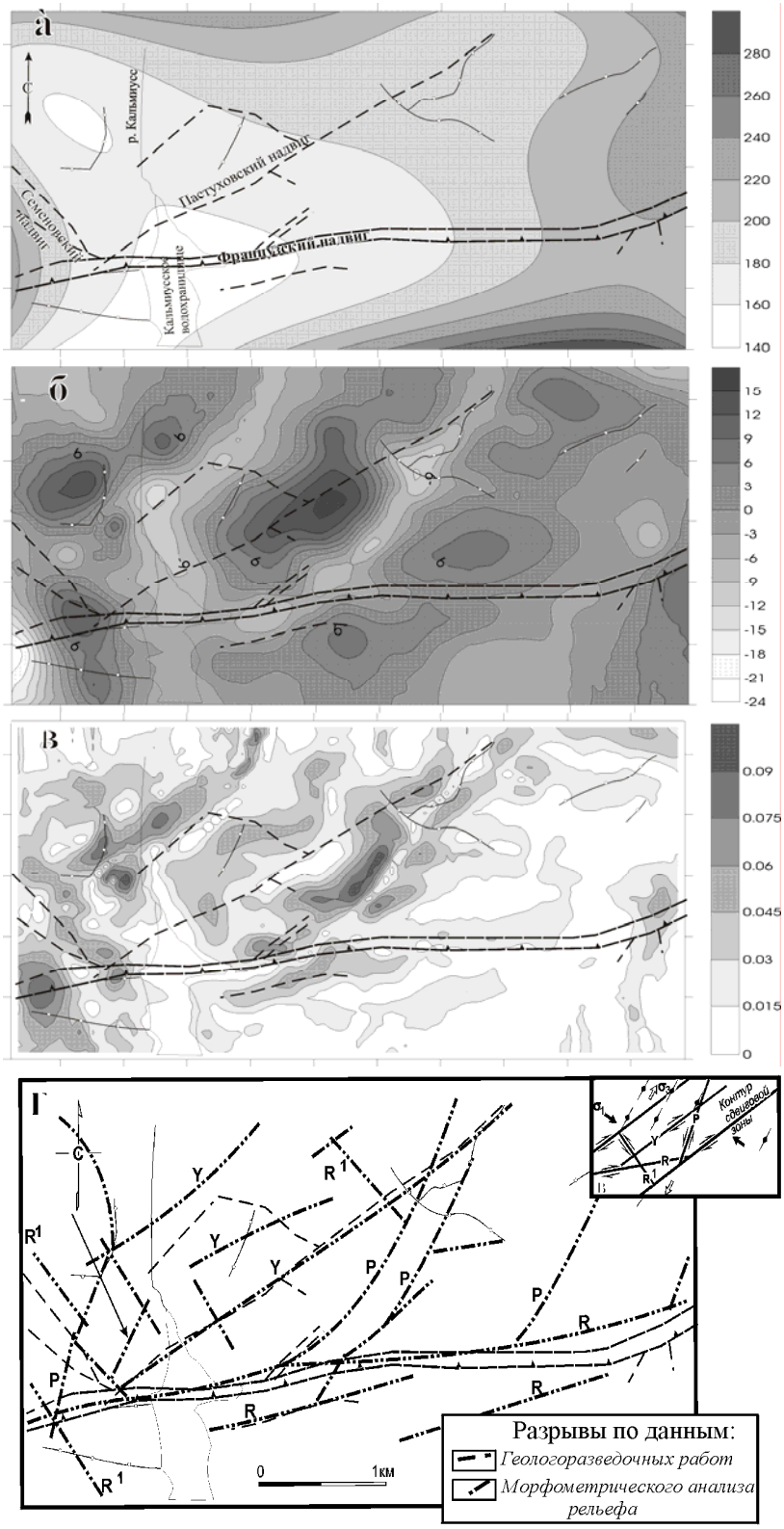

Рис. 5. Результаты морфоструктурного анализа рельефа земной поверхности: а) поверхность тренда R(x,y); б) поверхность остатка L (x,y); в) результаты морфометрического анализа в виде картограммы $|\mathrm{grad}\ L\ (x,y)|$; г) дешифрированные тектонические нарушения (на врезке показаны детали строения правосдвиговой зоны: σ_1 и σ_3 – тектонодинамические оси сжатия и растяжения; P, R, Y – сколы Риделя).

При расшифровке природы деформационных процессов в результате подработки массива горных пород, необходимо учитывать основные особенности региональных разрывных нарушений, среди которых: тип нарушения, форма сместителя, деформационные эффекты зон дробления, ориентация тектонодинамических осей с учетом распределения энергии упругих деформаций в массиве горных пород. Плоскость тектонического нарушения может служить своеобразным волноводом, по которому могут передаваться волны деформаций от техногенных источников, находящихся далеко за пределами деформированного участка.

В связи с этим, применение методов современного тектонического анализа (системная кинематика), тяготеющих к выявлению блоковых горизонтальных перемещений и соответствующих им структурно-тектонических конфигураций, являясь последним этапом обработки исходной информации, позволяет выявлять локальные возмущения регионального тектонического поля напряжений на обширных территориях и объединять их в организованные структуры, учитывая соподчиненность структурных единиц, выявить особенности их распределения в массиве горных пород и на земной поверхности [18] (рис. 5г; рис. 6).

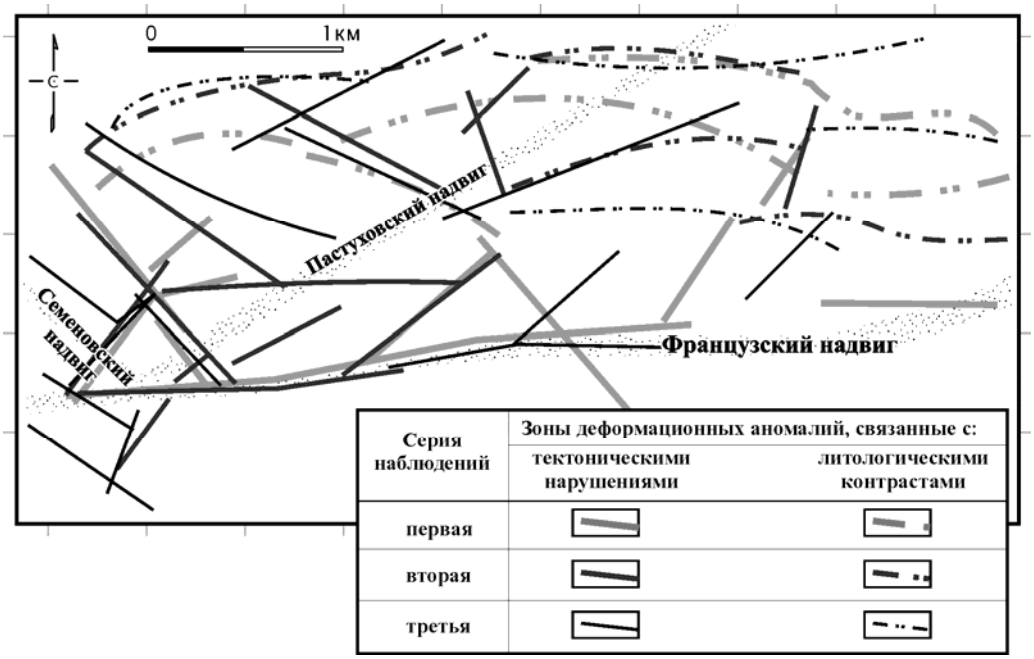

Рис. 6. Картограмма зон деформационных аномалий и расшифровка их генетической природы, составленная для трех серий натурных наблюдений на исследуемом участке.

Блочная структура заметно меняет свойства среды и оказывает существенное влияние на протекание многих геодинамических, сейсмических и фильтрационных процессов. В то числе, несомненно влияние блокового строения углепородного массива на развитие современных деформационных процессов, развивающихся при разработке угольных месторождений.

Построение картограмм модулей градиентов оседаний земной поверхности с целью изучения динамики образования техногенного «рельефа оседаний» позволило восстановить истинную картину основных тенденций поведения массива горных пород в условиях многократной подработки, т. е. выделить ослабленные зоны в углепородном массиве и само наличие неоднородной, структурированной среды,

которая предопределила релаксационную активизацию элементов геологической структуры в условиях ее техногенной активизации при разработке угольных месторождений.

Выводы

Предлагаемый алгоритм анализа и выявления зон деформационных аномалий при многократной подработке углепородного массива в условиях надвигового перекрытия одноименных пластов и расшифровка их генетической природы позволил выявить на исследуемом участке:

– приуроченность развития современных деформационных процессов к тектоническим нарушениям и литологическим контрастам в областях выхода мощных пластов песчаников на дневную поверхность;

– детали строения сдвиговой зоны в пределах участка Французского и Пастуховского надвигов, а так же детализировать взаимоотношения более мелких тектонических нарушений;

– зоны неоднородного структурного литолого-тектонического строения (концентраторов деформаций).

Дальнейшие исследования в области детализации влияния геологического строения угленосных формаций на процесс формирования «техногенного рельефа» должны проводиться с использованием современных ГИС-технологий, что позволит эффективно решать целый ряд задач и вопросов, возникающих в связи с разработкой природоохранных мероприятий, консервацией угольных предприятий, эксплуатацией и строительством зданий и сооружений на подработанных территориях.

Библиографический список

1. **Трофимов А. М**. Теоретические и методологические посылки геоморфологического прогноза// Геоморфология.- 1990.-№1. с. 14–19.

2. **Кратч Г.** Сдвижение горных пород и защита подрабатываемых сооружений. - М.: Недра, 1978. - 494 с.

3. **Donneli L. J., Whittaker B. N., Reddish D. I.** Surface subsidence behavior in the vicinity of geological faults and the reactivation of faults during the exploitation of coal reserves – a geological perspective. – Nottingham: Univ. Press. – 1992. – 16 p.

4. **Коваленко В. И.** Влияние тектонических нарушений на застроенные участки земной поверхности при их подработке // Сб. научн. Трудов ВНИМИ. – Л.: Изд. ВНИМИ. – 1977. – Вып. 104. – С. 45-50.

5. **Гавриленко Ю. Н.** Исследование факторов, влияющих на деформации земной поверхности, при подработке разрывных нарушений пологими пластами // Горно-металлургические проблемы Донбасса: Сб. науч. тр. № 1. – Донецк. - 1995. - С. 91-100.

6. **Гуляев Н. Ю.** Определение многолетних движений земной поверхности в регионах с интенсивным освоением недр с использованием спутниковых измерений // Изв. Высш. Уч. заведений: Горный журнал. – 2004. - № 6. - С. 46-48.

7. **Гавриленко Ю. Н.** Исследование сдвижений земной поверхности при нарушенном залегании пород в Донецко-Макеевском районе Донбасса // Изв. Высш. Уч. заведений: Горный журнал. – 1997. - № 2. – С. 55-60.

8. **Панова О. А., Привалов В. О.** Фрактальний характер кривих осідання при зсуві гірських порід навколо геологічних неоднорідностей // Тези доповідей Міжнародної геофізичної конференції “Анізотропія. Фрак тали. Проблеми практичного застосування”. – К.: “Київський університет”. – 1994. – С. 71-72.

9. **Привалов В. А., Панова Е. А., Булеев Е. И.** Проблема реактивации тектонических нарушений в пределах застроенных территорий Донбасса // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Донецк: ДПИ. – 1993. – С. 116.

10. **N. N. Kiselev, N. A. D’yachenko.** Spatial differentiation of tectonic activity of regional and linear structures taking into account continuous interaction of endogenic and exogenic processes // 5

International Scientific Conference Modern management of min producing, geology and environmental protection. SGEM 2005. – Bulgaria: SGEM Sofia. – 2005. – P. 541-548.

11. **Шульмин М. В., Миттельман Е. Я.** Мультиквадриковый метод апроксимации топографической поверхности// Геодезия и картография.-1974.-№2.-с.40-52.

12. **Боярский Э. Ф., Погорелов А. М**. Построение цифровых моделей шахтопластов на основе базы геологоразведочных данных // Изв. Высш. Уч. заведений: Горный журнал.-1994.-№11.-с.11-15.

13. **Киселев Н. Н., Туманов В. В., Майборода А. А., Шиптенко А. В**. Комплексные геолого-геофизические, геолого-разведочные и маркшейдерские исследования на подрабатываемых территориях // Уголь Украины.-1994.-№9.-с.32-34.

14. **Вознесенский Е. А., Ременяк К. М., Семидетко И. В**. Поведение горных пород при циклических нагрузках ниже предела усталости // Инженерная геология.- 1992.-№2.-С.38-48

15. **Медянцев С. А.** Прогноз деформаций земной поверхности при подработке выходов тектонических нарушений // Уголь Украины.-1993.- №12.- С.26-28.

16. **Привалов В. А., Привалова Н. А.** Количественный анализ рельефа геолого-физических полей в горно-промышленной геологии // Проблемы горно-промышленной геологии (материалы первых Ершовских чтений).- М.: Изд. МГИ, 1990. – С.63-64.

17. **Палиенко В. П.** Новейшая геодинамика и ее отражение в рельефе Украины.- К.: Наукова думка.- 1992.- 116с.

18. **Привалов В. А., Таранец В. И., Привалова Н. А.** О регулярном расположении тектонополос в угленосной толще Донбасса// Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири.- Иркутск: Изд. ИПИ.-1990.-С.26.

© Дьяченко Н. А., Панова Е. А. Привалов В. А. Киселев Н. Н., 2006

УДК 553.042.347 +658.56

Докт. геол. наук ВОЛКОВА Т. П., инж. ВОЛКОВА К. В. (ДонНТУ)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ В ПРАВОВОМ ПОЛЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА УКРАИНЫ

Минерально-сырьевая база имеет исключительно важное значение для развития экономики каждой страны и является основой государственной безопасности. Украина относится к числу государств с мощным и развитым минерально-сырьевым комплексом. При территории 603,7 тыс.км^2, что приблизительно составляет 0,4 % мировой суши, и численности населения в 0,8 % мирового сообщества, Украина до экономического кризиса производила около 5 % минерально-сырьевой продукции. В частности, от объема мировой продукции здесь добывалось 28-30 % марганцевой руды, 12-13 % железной руды, 6 % каменного угля, 5 % каолина. В начале 90-х годов, минерально-сырьевой комплекс обеспечивал 23-25 % валового национального дохода и треть валютных поступлений от экспорта Украины. С добычей и использованием полезных ископаемых связано 48 % промышленного потенциала страны и около 20 % её трудовых ресурсов. Несмотря на экономический кризис, охвативший Украину после распада СССР, уникальные месторождения полезных ископаемых обеспечивают до сих пор значительные объемы добычи каолина (18 % мировой), марганцевых (10 %) и железных (4 %) руд, урана, титана, циркония, германия, графита (4 %), а также брома, охры, нерудного металлургического сырья (кварцитов, флюсовых известняков и доломитов), химического сырья (самородной серы, натриевых и калийных солей), облицовочного камня (гранитов, габбро, лабрадоритов), стеклянного песка. В меньших количествах