

## ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ЦРД ПРИ МНОГОКРАТНОЙ ДОЛГОСРОЧНОЙ ПОДРАБОТКЕ

*В.А. Дрибан, Н.Н. Грищенко, Н.А. Дуброва, Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела НАН Украины, Украина*

Установлено, что в условиях Центрального района Донбасса долгосрочная многократная подработка приводит к образованию в массиве горных пород квазирегулярной сети вертикально ориентированных техногенных коллекторов.

Центральный геолого-промышленный район Донбасса – старейший горнодобывающий регион Украины, разработка которого началась в конце 19 столетия и послужила базой для развития металлургических, химических и машиностроительных предприятий. На его территории расположены горные отводы 28 шахт, крупное производственное объединение «Стирол», Горловский химзавод, Никитовский ртутный комбинат и целый ряд других крупных промышленных объектов.

Высокая степень техногенной нагрузки территории привела к аварийной ситуации отравления шахтной атмосферы летально опасными концентрациями вредных загрязняющих веществ (ВЗВ) [1] в 1989-1990 гг. на шахтах Углегорская и Александр-Запад, что показало необходимость как изучения путей поступления ВЗВ в массив горных пород, так и оценки состояния вмещающих пород, подвергшихся воздействию многолетней отработки.

Изучение и прогнозирование распространения загрязнителей в массиве горных пород является весьма сложной комплексной задачей с необходимостью учета многочисленных техногенных и эндогенных факторов влияния (тектонических, гидрогеологических, геохимических, геодинамических, геомеханических), особенно в условиях долгосрочной многократной систематической подработки горного массива, сложного геологического строения и высокой степени тектонической нарушенности исследуемой территории.

Подчеркнем, что именно многократная подработка массивов в условиях ЦРД, ведущаяся более 130 лет является одним из наиболее значимых факторов, определяющих кардинальное изменение фильтрационных характеристик вмещающих пород. Поэтому, целью данной работы является оценка степени нарушенности массива горных пород вследствие многократного поэтапного воздействия знакопеременных разнонаправленных деформаций, возникающих в процессе эксплуатации месторождения, для дальнейшего прогноза изменения его фильтрационных свойств.

В качестве объекта исследования (рис. 1, а) выбраны горные отводы шахты Александр-Запад (где произошло отравление шахтной атмосферы) и двух прилегающих шахт им. Калинина и Кондратьевка общей площадью более 45 км<sup>2</sup>. Горные предприятия работают с начала прошлого столетия и отрабатывают до 20 пластов на глубинах до 750-1000 м.

Следует отметить, что масштаб изучаемого массива, количество отрабатываемых угольных пластов, количество очистных выработок (несколько тысяч по каждому объекту), отсутствие полных данных являются факторами, чрезвычайно затрудняющими определение пространственно-временного распределения деформационных параметров. Поэтому, в качестве тестовой модели для получения оценочных характеристик полей деформаций в произвольной точке массива горных пород, были выбраны три угольных пласта ( $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$ ) шахты им. Калинина. Пласты  $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$  отрабатывались на протяжении 80 лет с 20 по 90 гг. прошлого столетия и имеют углы падения от 52° до 56°.

Для проведения расчетов был использован следующий подход. Все лавы в пределах каждого пласта были объединены по временным периодам отработки. В качестве шага был установлен интервал 10 лет. В результате аппроксимации около 1000 лав выделено 125 контуров горных работ по трем угольным пластам, которые разбиты на группы, соответствующие восьми временным интервалам отработки – 20-е, 30-е, 40-е, 50-е, 60-е, 70-

е, 80-е и 90-е годы (рис. 1, б). Для определения значений деформаций в произвольной точке массива, исходные данные о глубине отработки всех аппроксимированных контуров очистных горных выработок на горизонте «0» приведены к значениям, соответствующим горизонтам «-250», «-450» и «-650» метров. Из расчета исключены контуры, которые фактически расположены выше обозначенного горизонта.

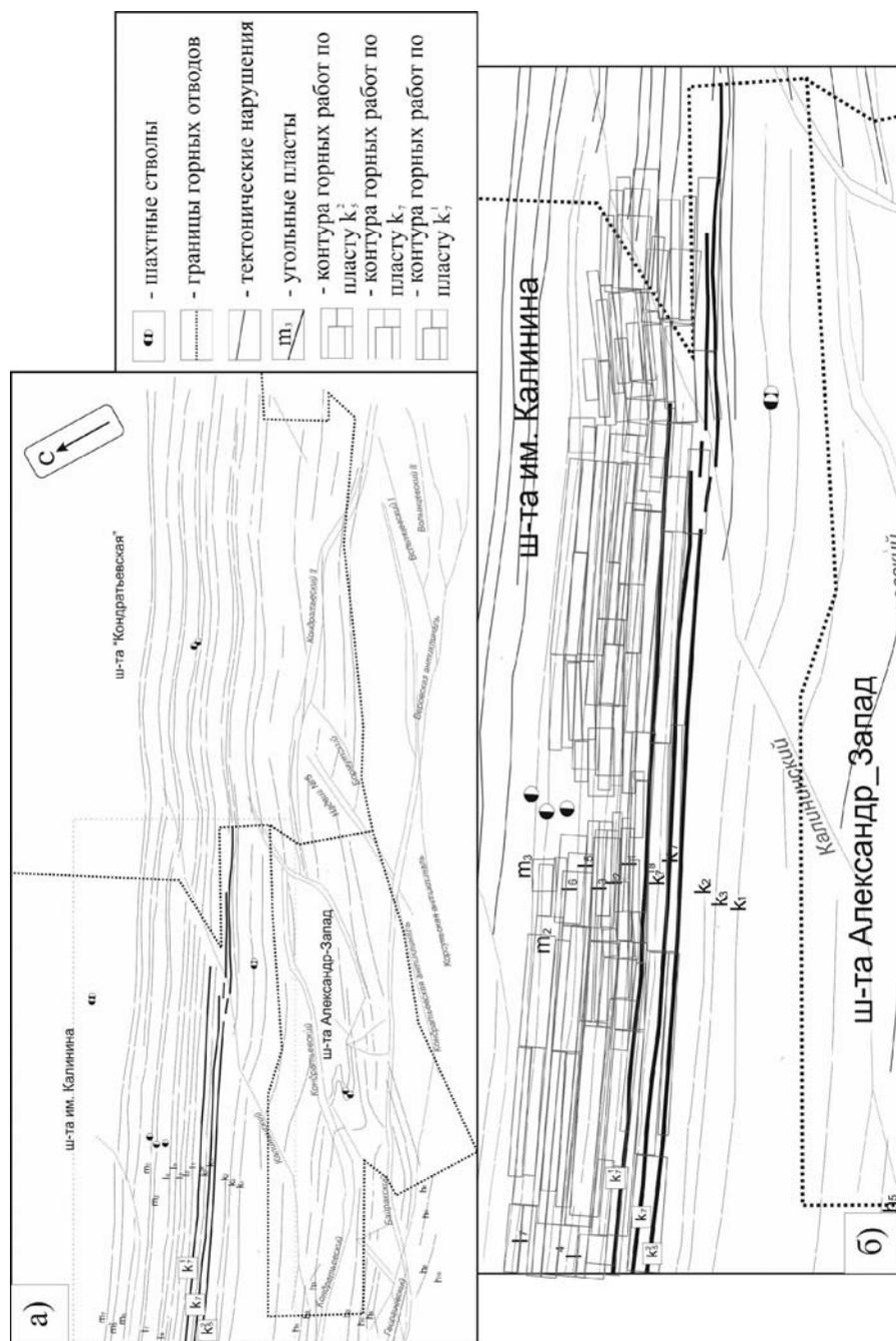


Рисунок 1. а) Горные отводы шахт им. Калинина, Кондратьевка и Александр-Запад [1]; б) Проекция аппроксимированных по временному параметру контуров очистных горных выработок

Горно-геологические условия отработки исследуемой территории - большое количество обрабатываемых пластов, крутое падение и малое межпластовое расстояние – требуют учета многократности подработки для получения достоверной оценки напряженно-деформированного состояния массива. Поэтому, при расчете параметров деформаций точки массива [2] необходимо учитывать влияние множественных вышележащих старых горных работ на каждом этапе последующей отработки. Согласно «Правилам подработки» [3], максимальное оседание земной поверхности  $\eta_m$  определяется по формуле (1):

$$\eta_m = q_0 m \cos \alpha N_1 N_2 \quad (1)$$

где  $N_1, N_2$  – условные коэффициенты, характеризующие степень подработанности земной поверхности;  $q_0$  – относительная величина максимального оседания, вычисляется по формуле (2):

$$q_0 = q'_0 - 0,0017\alpha \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол падения пласта.

Максимальное оседание от старой выработки  $\eta_m^{св}$  определяется по формуле (3):

$$\eta_m^{св} = \Delta q m \cos \alpha N_1 N_2 \quad (3)$$

где  $\Delta q$  – разность между относительными максимальными оседаниями при повторной и первичной подработках, которую принимают для условий Донбасса равной 0,15.

Для расчета максимальных оседаний от текущих горных работ с учетом влияния старых выработок, использовано рекуррентное соотношение вида (4):

$$\eta_{t_n}^{общ} = \eta_{t_n}^{нов} + \frac{\Delta q}{q_0} \eta_{t_{n-1}}^{общ} \quad (4)$$

где  $t_n$  – расчетный период;  $n$  – количество расчетных периодов.

В качестве примера, приведем расчет максимального оседания  $\eta_{общ}^{90}$  от горных работ по самому глубокому горизонту, соответствующему 90 гг. отработки.

$$q_0 = q'_0 - 0,0017\alpha = 0,8 - 0,0017 \cdot 53 = 0,71$$

$$\frac{\Delta q}{q_0} = \frac{0,15}{0,71} = 0,21$$

$$\eta_{90}^{общ} = \eta_{90}^{нов} + 0,21 \left( \eta_{80}^{нов} + 0,21 \left( \eta_{70}^{нов} + 0,21 \left( \eta_{60}^{нов} + 0,21 \left( \eta_{50}^{нов} + 0,21 \left( \eta_{40}^{нов} + 0,21 \left( \eta_{30}^{нов} + 0,21 \eta_{20}^{нов} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \right)$$

где  $\eta_t^{нов}$  – максимальные оседания при первичной подработке;  $\eta_t^{общ}$  – суммарные максимальные оседания с учетом влияния старых выработок.

Расчет и построение мульд (рис. 2) выполнены с помощью программы «Подработка» (версия 2.1), разработанной в УкрНИМИ на основе методики, изложенной в действующих «Правилах подработки» [3].

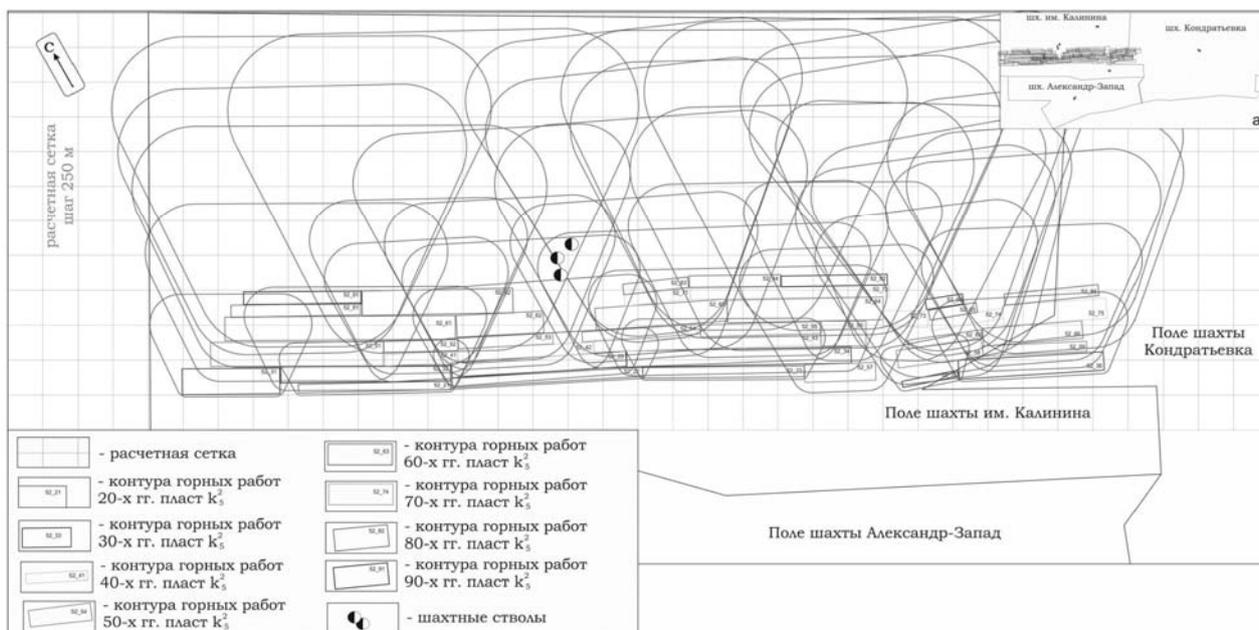


Рисунок 2. Зоны влияния контуров горных работ по пласту  $k_5^2$

Расчет деформаций массива горных пород от каждой группы контуров позволяет отобразить динамику изменения напряженно-деформированного состояния массива с шагом в десять лет для произвольной точки массива. В качестве примера, на рисунке 3 приведены карты распределения значений горизонтальных деформаций  $E_p$  в направлении простираения

горных пород в пределах исследуемого участка по десятилетиям. Распределение значений горизонтальных деформаций в пределах исследуемой площади характеризуется чередующимися пространственно сопряженными зонами сжатия и растяжения, прослеживающимися на всех этапах отработки. Зоны сжатий и растяжений, представляют собой приблизительно равные по площади области, характеризующиеся близкими по величине значениями и приблизительно равным пространственным шагом чередования в пределах каждого рассматриваемого временного периода. Так расстояния между чередующимися максимумами и минимумами значений: для 20 -50 гг. в среднем 350 м, 60-90 гг. около 1000 м. Поэтапное (по периодам ведения очистных работ) рассмотрение деформаций массива позволяет отследить изменения деформированного состояния массива во времени и демонстрирует замещение зон сжатия зонами растяжения и наоборот в процессе отработки.

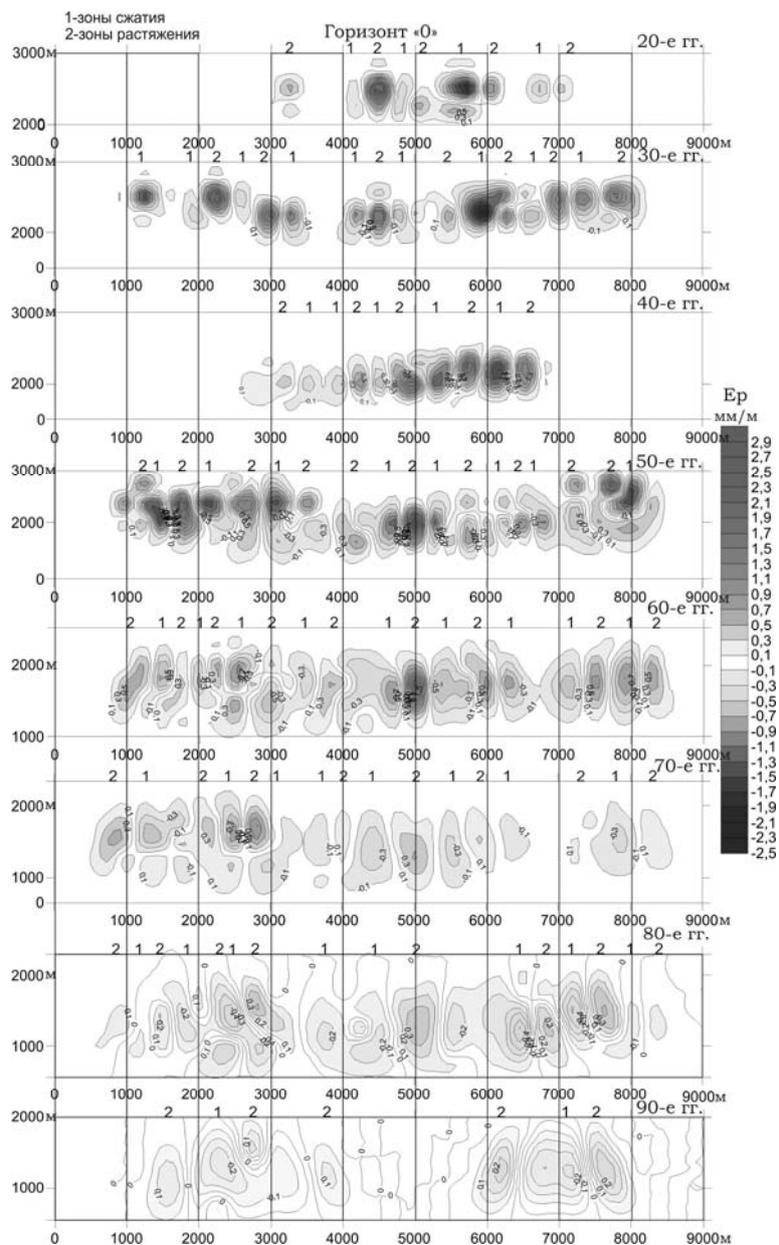


Рисунок 3. Динамика изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород на горизонте «0» по десятилетиям

Из рисунка 3 видно, что области массива (например, интервал 4000-5000 м), испытывают деформации растяжения на протяжении двух первых десятилетий отработки, которые в

последующие десятилетия трансформируются в зоны сжатия, что прослеживается во всех областях исследуемого массива. Это говорит о том, что в процессе ведения горных работ, массив горных пород находился под воздействием горизонтальных знакопеременные деформаций с многократным поэтапным замещением зон сжатия зонами растяжения и наоборот. Подобное чередование зон сжатия и растяжения выявлено и на горизонтах «-250», «-450» и «-650» метров, что позволяет говорить о подверженности всего массива влиянию знакопеременных деформаций, которые, в процессе многократных смен зон сжатия и растяжения, приводят к увеличению их трещиноватости и, соответственно, к значительному изменению фильтрационных характеристик массива в целом.

Известно, что в процессе ведения добычных работ горные породы подвергаются сжатию и растяжению, деформациям изгиба и сдвига, а также нескольким видам деформаций одновременно. Наиболее устойчивы горные породы к деформациям сжатия, а прочность на растяжение составляет, как правило, 10% от прочности на сжатие [4]. Предельные значения деформаций растяжения, для пород исследуемого района, при которых происходит разрушение и раскрытие горных пород колеблются в пределах 0,05-0,25 мм/м, а сжатия – 2 мм/м [5, 6]. Таким образом, полученные значения деформаций растяжения, превышают предельные значения в более чем 10 раз, а деформации сжатия соизмеримы с предельными. Также можно предположить, что в условия повышенного метаморфизма, характерного для района исследования, значения предельных деформаций могут быть несколько ниже, что обеспечивает еще большую уязвимость и хрупкость для горных пород.

Необходимо отметить, что рассматриваемая модель, является укрупненной моделью происходящих в массиве процессов, т.к. при расчете использовались обобщенные данные о ведении горных работ и не рассматривалось влияние каждой отдельной лавы. Следовательно, изменения напряженно-деформированного состояния массива – образование зон сжатия и растяжения, а также их смена и, соответственно, трансформация в области повышенной трещиноватости и проницаемости, вероятно, происходила с меньшим пространственным шагом.

Учет многократности подработки при расчете деформаций позволил построить карты суммарного погоризонтного распределения показателей горизонтальных деформаций, рассчитанные по простиранию ( $E_p$ ) и вкрест простирания ( $E_q$ ) пласта. На рисунке 4 приведены карты погоризонтного распределения по простиранию суммарных горизонтальных деформаций  $E_p$  от влияния горных работ по пластам  $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$ .

Распределение суммарных горизонтальных деформаций в массиве, отраженное на рисунке 4, носит более "спокойный характер", по сравнению с поэтапным распределением по временному параметру, что связано с обнулением значений знакопеременных деформаций вследствие многократного наложения зон сжатия и растяжения. Однако общая тенденция образования зон повышенной проницаемости сохраняется с увеличением шага знакопеременных изменений в среднем до 800 м. Увеличение значений горизонтальных деформаций растяжения, достигающих на некоторых участках 5÷7 мм/м, превышающих предельные значения в 20÷30 раз, свидетельствует о кардинальном изменении естественного состояния вмещающих пород вследствие подработки. Таким образом, можно сделать вывод об образовании зон повышенной трещиноватости и, как следствие, о существенном изменении фильтрационных свойств массива.

Суммируя сказанное можно констатировать следующее. При отработке каждой из лав различные области массива горных пород притерпевают знакопеременные деформации порядка  $\pm 10^{-3}$ . Если учитывать многократность и долгосрочность ведения очистных работ при которых суммарная мощность отработанных угольных пластов в некоторых точках достигает 8 - 10 м, то можно говорить о подверженности массива многократным влияниям разнонаправленных деформаций, приводящих к развитию множественных систем техногенных трещин.

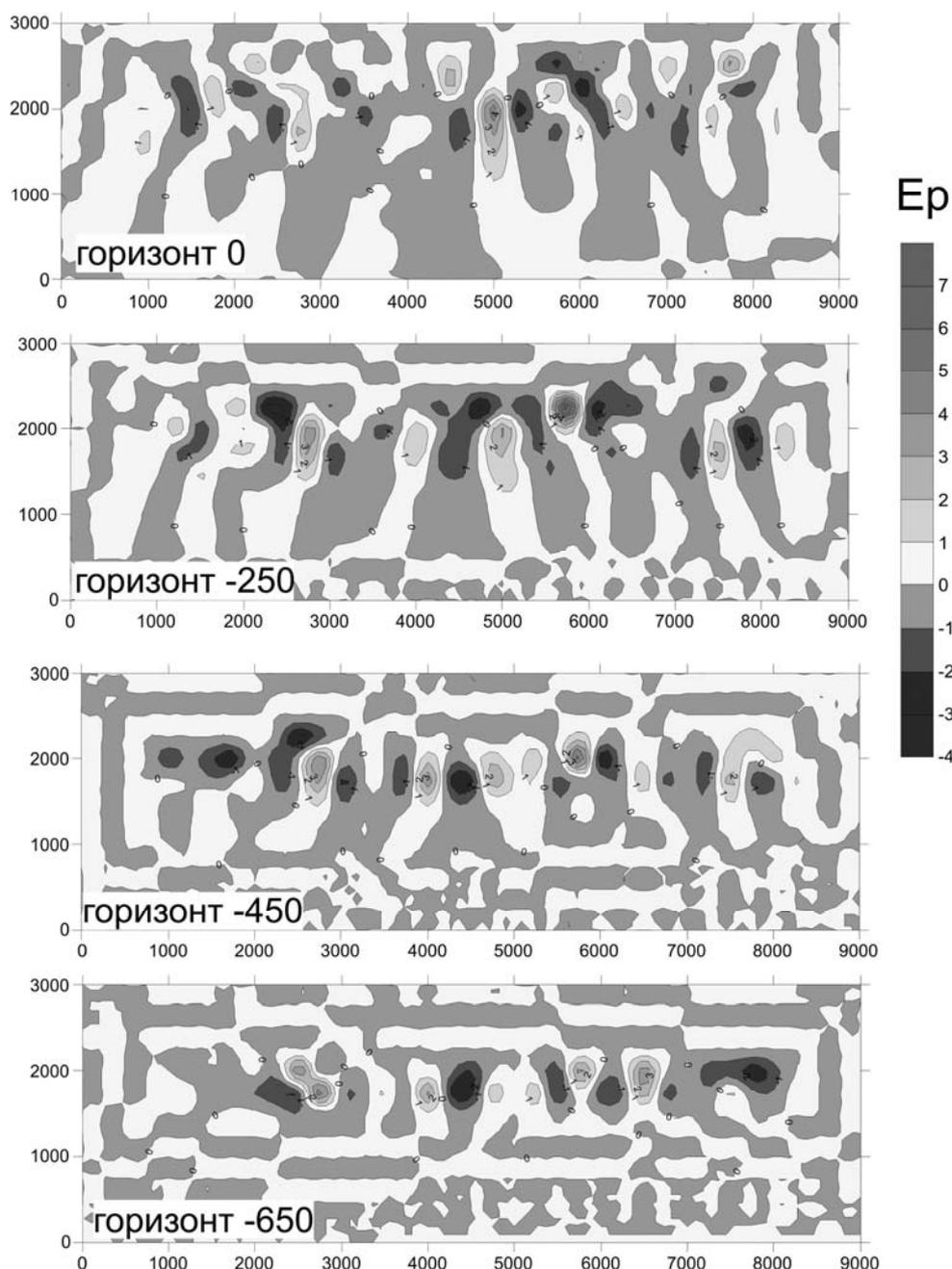


Рисунок 4. Погоризонтное распределение суммарных горизонтальных деформаций  $E_p$  от влияния горных работ по пластам  $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$  (по простиранию)

Следует отметить, что развитие техногенной трещиноватости происходит в условиях сложного геологического строения массива, так как изучаемая территория характеризуется сложным строением, где имеют место многочисленные тектонические разрывы продольного (Осевой, Продольный и др.) и широтного (Калининский, Байракский, Кондратьевский) простираний, сопровождающиеся развитой малоамплитудной нарушенностью.

В работе [7] была выдвинута, и подтверждена обработкой экспериментальных данных распределений ВЗВ, гипотеза о принципиальном изменении природной проницаемости массива и приобретении им квазиоднородных по фильтрационным параметрам свойств, вследствие многократной долгосрочной подработки, что подтверждается текущими исследованиями. Более того, установлено, что долгосрочная многократная подработка угольных пластов в условиях крутого падения приводит к образованию в массиве горных пород чередующихся пространственно-сопряженных зон сжатий и растяжений, замещающих

друг друга в процессе ведения горных работ и генерирующих квазирегулярную сеть вертикально ориентированных техногенных коллекторов.

Заметим, что приведенная модель является первым приближением действительного состояния массива. Поскольку в условиях крутого падения наличествует большое количество совместно разрабатываемых угольных пластов с весьма малым межпластовым расстоянием, что приводит к перекрытию зон влияния очистных работ и, как следствие, к более интенсивному изменению деформационных полей.

#### Список литературы

1. Отчет о результатах разведки очагов загрязнения и созданию сети наблюдательных скважин на полях шахт Центрального района Донбасса : отчет о НИР (закл.)/ Госуглепром Украины, ПО «Укруглегеология», ЦДГРЭ; рук. О.А. Куш; ГР 39-90; Инв. 743/І. – Донецк, 1993. – 117 с.

2. КД 12.01.01.201-98 Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания: Руководящий нормативный документ Министерства угольной промышленности Украины / Издание официальное. Министерство угольной промышленности Украины. Киев, 1998. – 149 с.

3. ГСТУ 101.00159226.001 – 2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Введ. 01.01.2004.– К., 2004. – 128 с.

4. Флоренский П.В., Милосердова Л.В., Балицкий В.П. Основы литологии: Учебное пособие. М., РГУ Нефти и газа им. И.М.Губкина, 2003 - 105 с.

5. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород: Справочное пособие / М.М. Протодяконов, Р.И. Тедер, Е.И. Ильницкая и др. М., Недра, 1981, 192 с.

6. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В.Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. М., недра, 1979, 269 с.

7. Дрибан В.А. Изучение количественных и пространственных параметров распределения вредных загрязняющих веществ в техногенно нарушенном массиве горных пород сложного строения / Дрибан В.А., Дуброва Н.А. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАНУ, 2012. – № 11. - С. 306-318.