

УДК 622.363.2.031:622.833

### ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕФОРМИРУЕМОГО МАССИВА В РЕЗУЛЬТАТЕ МНОГОКРАТНОЙ ПОДРАБОТКИ

**Н. А. Дуброва**

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела НАН Украины  
ул. Челюскинцев, 291, г. Донецк, 83004, Украина. E-mail: dubrovan@mail.ru

В условиях Центрального района Донбасса, где на подработанной территории расположены крупные предприятия химической промышленности, актуальна проблема проникновения загрязнителей в горные выработки, что привело к аварийным ситуациям с летальными исходами. Это обусловило необходимость оценки состояния вмещающих пород, подвергшихся воздействию многолетней отработки. Установлено, что долгосрочная многократная подработка приводит к образованию в массиве горных пород квазирегулярной сети вертикально ориентированных техногенных коллекторов. Выполнена оценка степени изменения проницаемости вмещающих пород в результате воздействия запредельных деформаций. Выдвинута и подтверждена обработкой экспериментальных данных распределений вредных загрязняющих веществ, гипотеза о принципиальном изменении природной проницаемости массива и приобретении им квазиоднородных по фильтрационным параметрам свойств.

**Ключевые слова:** многократная подработка, деформации, техногенные коллекторы, квазиоднородность.

### ОЦІНКА ЗМІНЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕФОРМУЄМОГО МАСИВУ ВНАСЛІДОК БАГАТОРАЗОВОЇ ПІДРОБКИ

**Н. О. Дуброва**

Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України  
вул. Челюскінців, 291, м. Донецьк, 83004, Україна. E-mail: dubrovan@mail.ru

В умовах Центрального району Донбасу, де на підробленій території розташовані великі підприємства хімічної промисловості, актуальна проблема проникнення забруднювачів у гірничі виробки, що призвело до аварійних ситуацій з летальними наслідками. Це обумовило необхідність оцінки стану вміщувальних порід, що зазнали впливу багаторічного відпрацювання. Встановлено, що довгострокова багаторазова підробка призводить до утворення у масиві гірських порід квазирегулярної мережі вертикально орієнтованих техногенних колекторів. Оцінено міру змінення проникності вміщувальних порід внаслідок впливу поза межних деформацій. Висунуто та підтверджено обробленням експериментальних даних розподілу шкідливих забруднюючих речовин гіпотезу про принципове змінення природної проникності масиву та набуття їм квазіоднорідних за фільтраційними параметрами властивостей.

**Ключові слова:** багаторазова підробка, деформації, техногенні колектори, квазіоднорідність.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** 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 [1] территории привела к аварийной ситуации отравления шахтной атмосферы летально опасными концентрациями вредных загрязняющих веществ (ВЗВ) 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 долгосроч-

ной 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, крайне важной задачей 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.

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, а также проверка выдвинутой гипотезы о приобретенной квазиоднородности фильтрационных свойств массива путем статистической обработки экспериментальных данных.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. 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 обрабатывают до 20 пластов на глубинах до 750–1000 м.

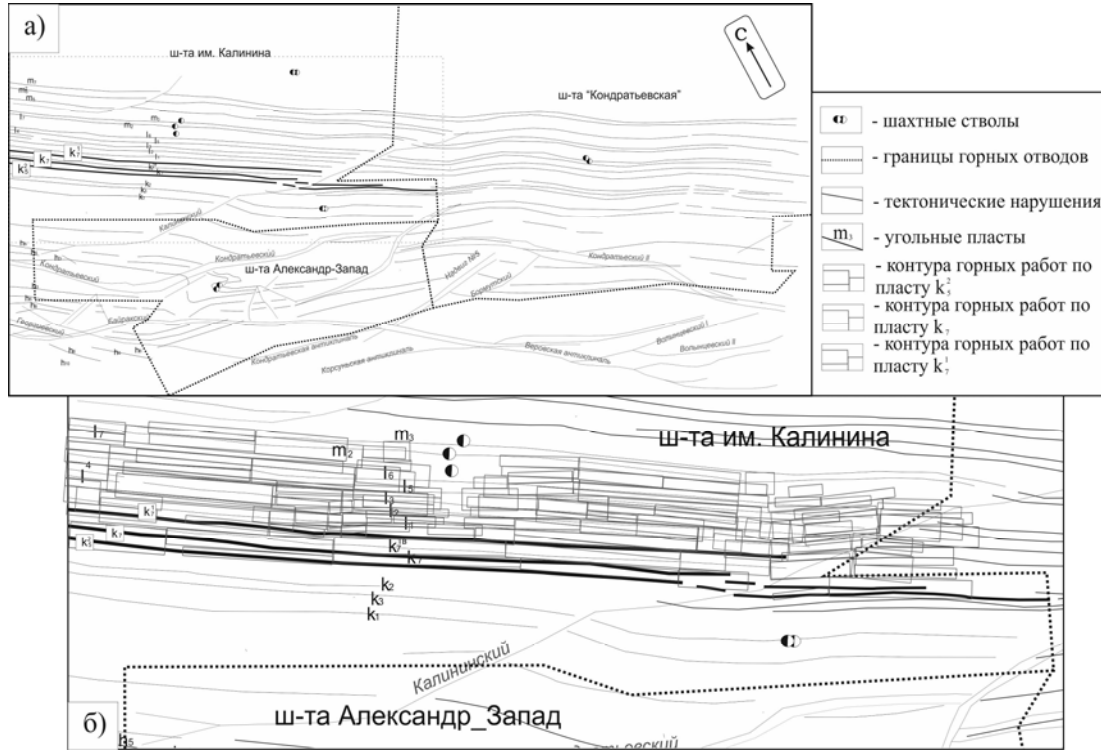


Рисунок 1 – Объект исследования: а) горные отводы шахт им. Калинина, Кондратьевка и Александр-Запад; б) проекции аппроксимированных по временному параметру контуров очистных горных выработок

Следует отметить, что масштаб изучаемого массива, количество обрабатываемых 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  $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$  обрабатывались 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 гори-

зонте «0» приведены к значениям, соответствующим горизонтам «–250», «–450» и «–650» м. Из расчета исключены контуры, которые фактически расположены выше обозначенного горизонта.

Горногеологические 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 необходимо учитывать влияние множественных вышележащих старых горных работ на каждом этапе последующей отработки. Согласно ГСТУ 101.00159226.001–2003, максимальное оседание земной поверхности  $\eta_m$  определяется по формуле:

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

где  $N_1$ ,  $N_2$  – условные коэффициенты, характеризующие степень подработанности земной поверхности;  $q_0$  – относительная величина максимального оседания, вычисляется как

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

где  $\alpha$  – угол падения пласта.

Максимальное оседание от старой выработки  $\eta_m^{ce}$  определяется из выражения:

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

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:

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

где  $t_n$  – расчетный период;  $n$  – количество расчетных периодов;  $\eta_{t_n}^{нов}$  – максимальные оседания при первичной подработке;  $\eta_{t_n}^{общ}$  – суммарные максимальные оседания с учетом влияния старых выработок.

Расчет и построение мульд (рис. 2) выполнены с помощью программы «Подработка» (версия 2.1), разработанной в УкрНИИ на основе методики, изложенной в действующем ГСТУ 101.00159226.001–2003.

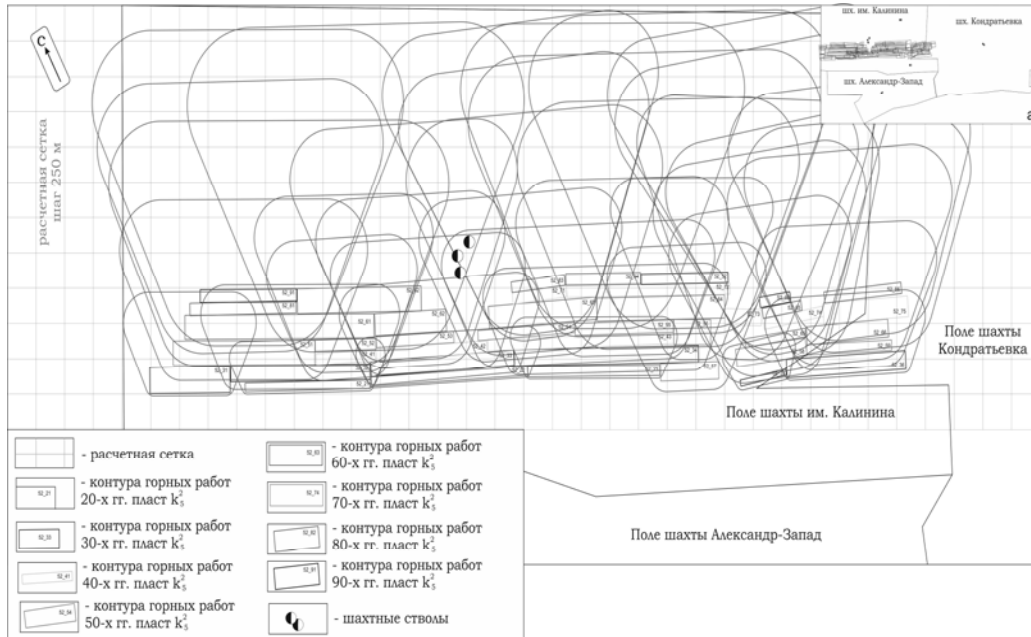


Рисунок 2 – Зоны влияния контуров горных работ по пласту  $k_5^2$

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  $\epsilon_p$  в направлении простирания горных пород в пределах исследуемого участка по десятилетиям. Распределение значений горизонтальных деформаций в пределах исследуемой площади характеризуется чередующимися пространственно-сопряженными зонами сжатия и растяжения, которые прослеживаются на всех этапах отработки. Зоны сжатий и растяжений представляют собой приблизительно равные по площади области, характеризующиеся близкими по абсолютной 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.

Из рис. 3 видно, что области массива (например, интервал 4000–5000 м), испытывают деформации растяжения на протяжении двух первых десятиле-

тий отработки, которые затем трансформируются в зоны сжатия, что наблюдается 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.

Поэтапное (по периодам ведения очистных работ) рассмотрение деформаций массива дает возможность отследить трансформации деформированного состояния массива во времени. На рис. 4 представлены векторные диаграммы пошагового изменения деформированного состояния подрабатываемого массива во времени.

Учет многократности подработки при расчете деформаций позволил построить карты суммарного погоризонтного распределения показателей горизонтальных деформаций по простиранию ( $E_p$ ) и

вкрест простирания ( $E_q$ ) пласта. На рис. 5, 6 приведены карты погоризонтного распределения суммарных горизонтальных деформаций  $E_p$  и  $E_q$  от влияния горных работ по пластам  $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$ .

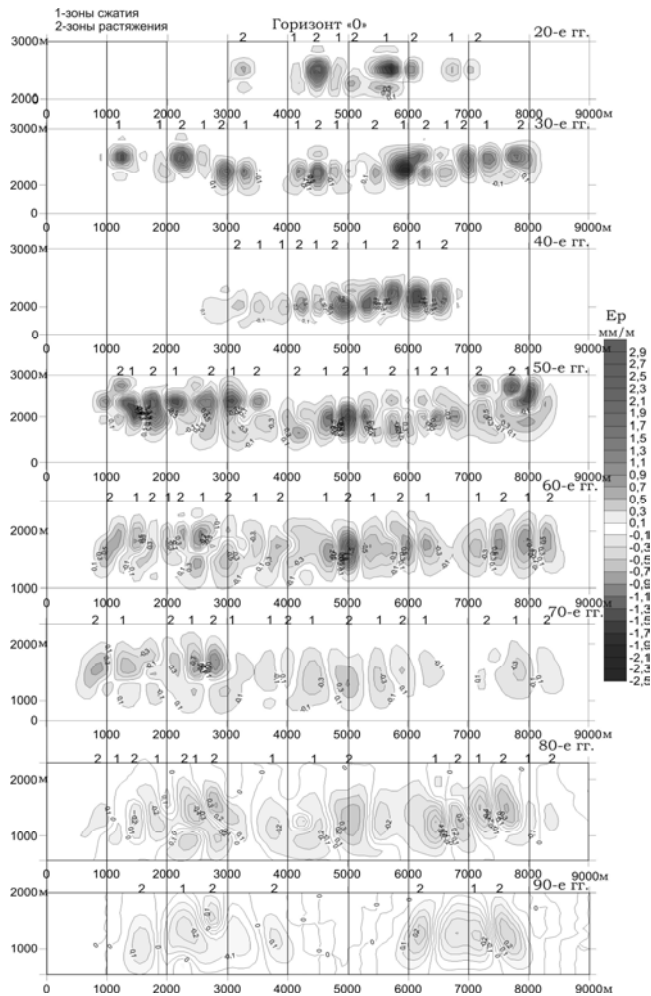


Рисунок 3 – Динамика изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород на горизонте «0» по десятилетиям

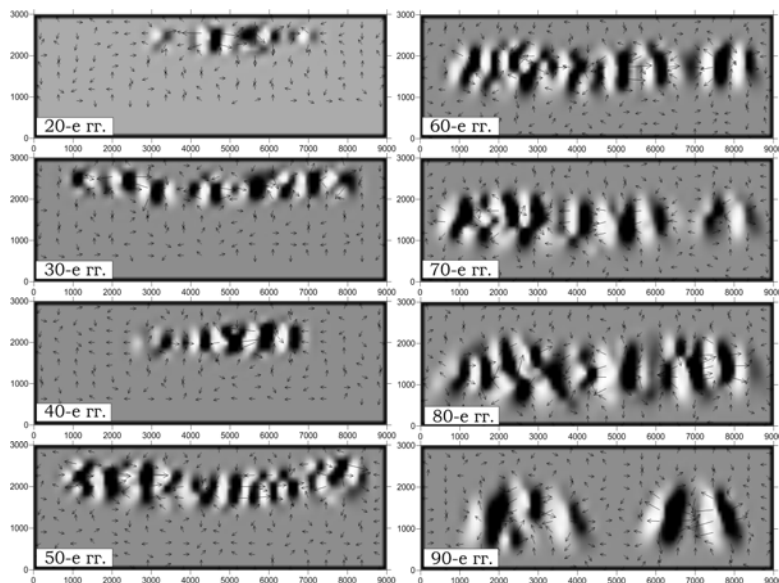


Рисунок 4 – Динамика изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород на горизонте «0» по десятилетиям, с векторной составляющей изменения горизонтальных деформаций  $E_p$

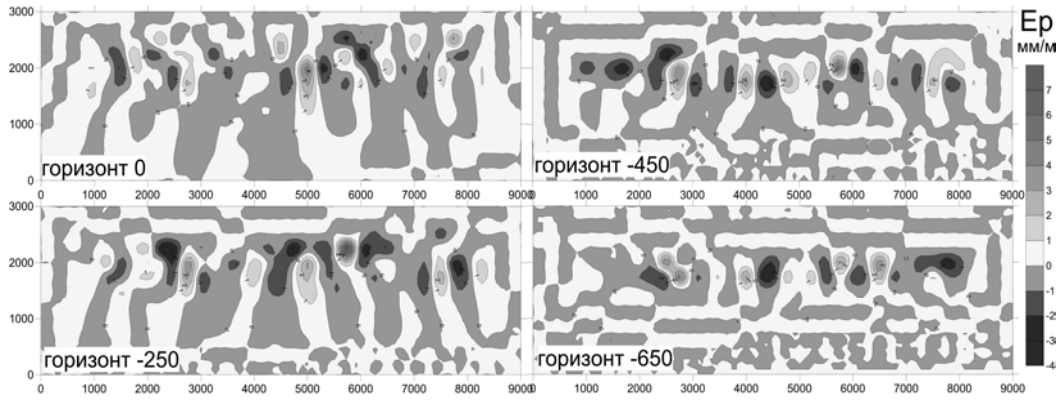


Рисунок 5 – Погоризонтное распределение суммарных горизонтальных деформаций  $E_p$  от влияния горных работ по пластам  $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$  (по простиранию)

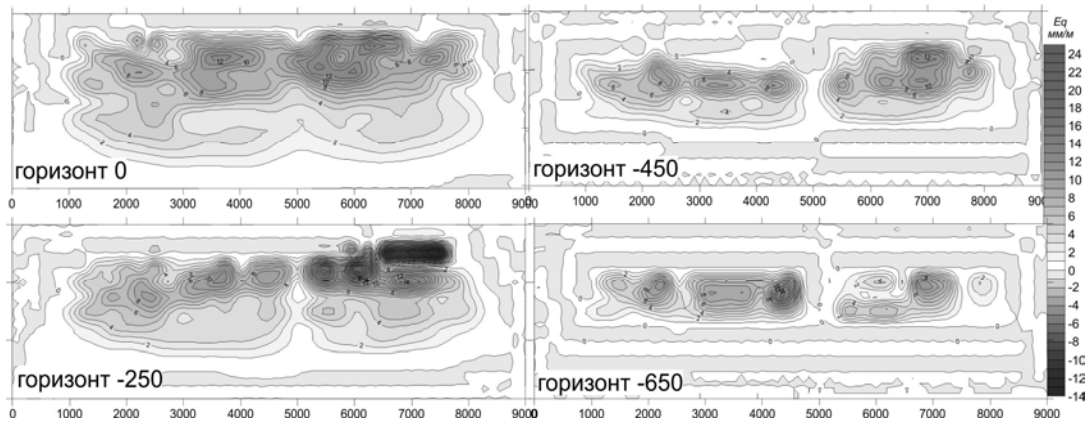


Рисунок 6 – Погоризонтное распределение суммарных горизонтальных деформаций  $E_q$  от влияния горных работ по пластам  $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$  (вкрест простирания)

Распределение суммарных горизонтальных деформаций в массиве, отраженное на рисунке 5, 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.

На основе методики, изложенной в КД 12.01.01.201–98, выполнен расчет вертикальных деформаций ( $E_z$ ) точек массива горных пород. Шаг расчетной сетки и расчетные горизонты идентичны модели расчета горизонтальных деформаций. Погоризонтное изменение полей вертикальных деформаций представлено на рис. 7.

Таким образом, мы имеем значения горизонтальных деформаций по простиранию, горизонтальных деформаций вкрест простирания горных пород и вертикальных деформаций для произвольных точек массива, что дает возможность получить оценку изменения полей проницаемости подработанного массива.

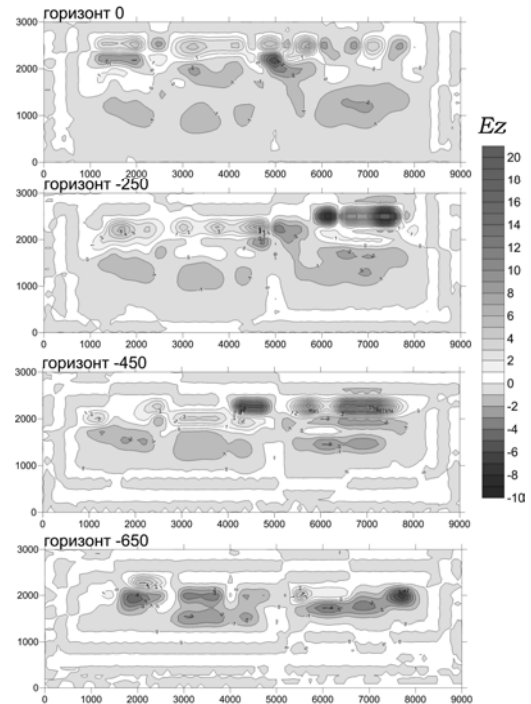


Рисунок 7 – Погоризонтное распределение суммарных вертикальных деформаций  $E_z$  от влияния горных работ по пластам  $k_5^2$ ,  $k_7$ ,  $k_7^1$

Перед тем, як перейти к расчетам, необходимо сделать ряд замечаний. Прежде всего, для адекватного описания накопления поврежденности массива горных пород в процессе подработки, следует учитывать тот факт, что породы различным образом реагируют на различные виды деформаций.

Наиболее устойчивы горные породы к деформациям сжатия, в то время как прочность на растяжение составляет, как правило, не более 10 % от прочности на сжатие. Предельные значения деформаций растяжения, для пород исследуемого района, при которых происходит разрушение и образование трещин колеблются в пределах 0,05–0,25 мм/м, а сжатия – 2 мм/м [2, 3]. Полученные значения (только по трем пластам) деформаций растяжения, превышают предельные значения более чем в 10 раз, а деформации сжатия соизмеримы с предельными. Вторым важным обстоятельством является именно необратимость состояния массива, претерпевшего предельное деформирование, т.е. если после прохождения цикла растяжение-сжатие, суммарные деформации близки к нулю, то это отнюдь не означает отсутствие поврежденности, поскольку трещины после появления не «залечиваются». С точки зрения оценки фильтрационных характеристик массива в этом случае можно говорить лишь о некоторой временной их пассивности. Таким образом, исключительно важным является именно динамический анализ напряженно-деформированного состояния массива.

При обработке каждой из лав различные области массива горных пород претерпевают знакопеременные деформации порядка  $\pm 10^{-3}$ . Если учитывать многократность и долго-временность воздействия очистных работ при которых суммарная мощность отработанных угольных пластов в некоторых точках достигает 8–10 м, то можно утверждать следующее. Многократная подработка в условиях ЦРД приводит к развитию множественных различным образом ориентированных систем техногенных трещин и, как следствие, образованию зон повышенной трещиноватости и, следовательно к существенному изменению проницаемости массива горных пород и его фильтрационных свойств.

Подчеркнем также, что изучаемая территория характеризуется сложным строением, где имеют место многочисленные тектонические разрывы продольного (Осовой, Продольный и др.) и широтного (Калининский, Байракский, Кондратьевский) простираний, сопровождающиеся развитой малоамплитудной нарушенностью, что обуславливает образование региональных и локальных зон повышенных напряжений и разгрузки.

Как отмечалось выше, анализ полученных результатов свидетельствует о деформациях массива, превышающих предельные в десятки раз. То есть имеют место необратимые деформации, которые не ограничиваются лишь раскрытием уже существующих трещин. В процессе необратимого деформирования наряду с раскрытием первоначальных трещин

происходит рост и образование новых систем трещин.

Полученные данные позволяют оценить степень изменения проницаемости вмещающих пород в результате воздействия запредельных деформаций.

Вопрос изучения влияния необратимых деформаций на изменение проницаемости горных пород рассмотрен в работах [4–6]. Авторами введено понятие трещинной проницаемости, ограниченное лишь системами сообщающихся между собой пор и трещин или так называемыми транспортными каналами, включающими в себя обширный класс различного рода пустот. Указанные пустоты характеризуются большими по сравнению с размерами молекул фильтрующихся веществ величинами свободного просвета и обеспечивают значительный расход флюида. Под термином структуры порового пространства понимаются геометрические характеристики транспортных каналов (форма, густотность, ориентация, раскрытие и т.д.).

Автором [4] получены определяющие соотношения, отражающие влияние необратимых деформаций на изменения проницаемости  $K^P$  деформируемых горных пород, которые в случае конечного числа трещин имеют вид (5).

$$\overline{\overline{K^P}} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^r L_i^2 (\varepsilon_{nn}^P)^3 (I - \overline{nn}) \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{nn}^P$  – нормальная к плоскости трещины деформация;  $L_i$  – расстояние между стенками смежных трещин в  $i$ -той системе;  $\overline{\overline{K^P}}$  – тензор проницаемости;  $\overline{I}$  – единичный тензор;  $\overline{nn}$  – векторная диада.

Соотношение (5) может быть использовано для предварительных оценок изменений проницаемости с рядом оговорок относительно условий деформирования горных пород.

Будем считать, что условия сжатия и растяжения в пределах одного горизонта не влияют на величину остаточных изменений объема горных пород. Такое допущение вполне приемлемо для участков с большой степенью усреднения результатов по площади.

Ниже приведены результаты расчетов нормированных составляющих тензора проницаемости  $K_{ij}$  по нормали к напластованию пород (рис. 8), по простиранию пород (рис. 9) и вкрест простирания горных пород (рис. 10) для горизонтов «0», «–250», «–450», «–650». Оценочные значения составляющих тензора проницаемости  $K_{ij}$  получены в соответствии с (5) для двух ортогональных систем трещин.

Анализ полученных оценочных значений нормированных составляющих тензора проницаемости горных пород позволяет сделать вывод о многократном увеличении пропускной способности вмещающих пород под действием запредельных деформаций, вызванных многократной подработкой.

Максимальные значения  $K_{ij}$  приурочены к зонам ведения горных работ на разных глубинах и

варіюються в залежності від їх інтенсивності (количества обробланих лав, їх розміра в плані).

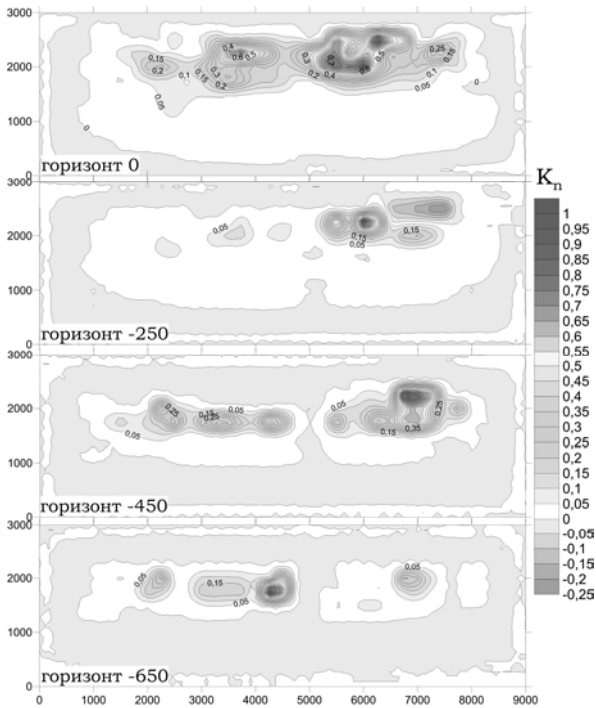


Рисунок 8 – Погоризонтне розподілення значень нормованої складової тензора проникності  $K_n$  по нормалі к напластованню порід

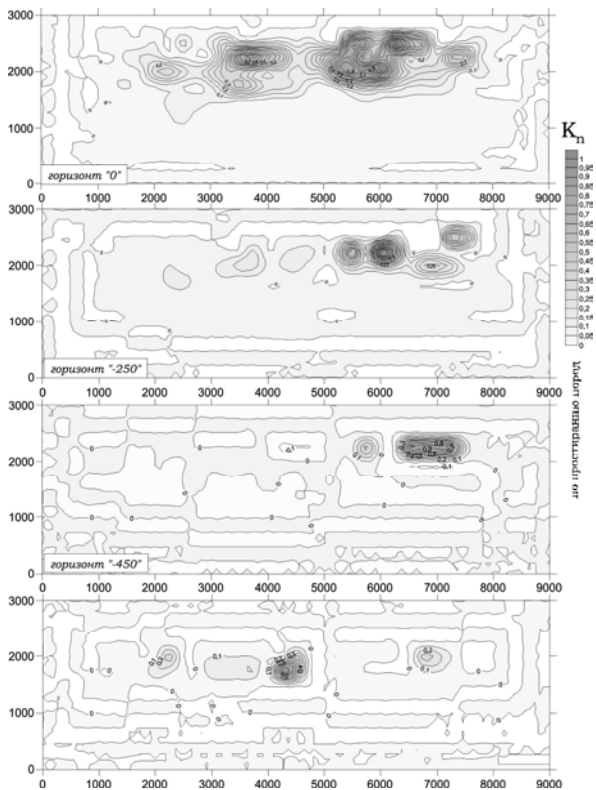


Рисунок 9 – Погоризонтне розподілення значень нормованої складової тензора проникності  $K_n$  по простиранию порід

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.

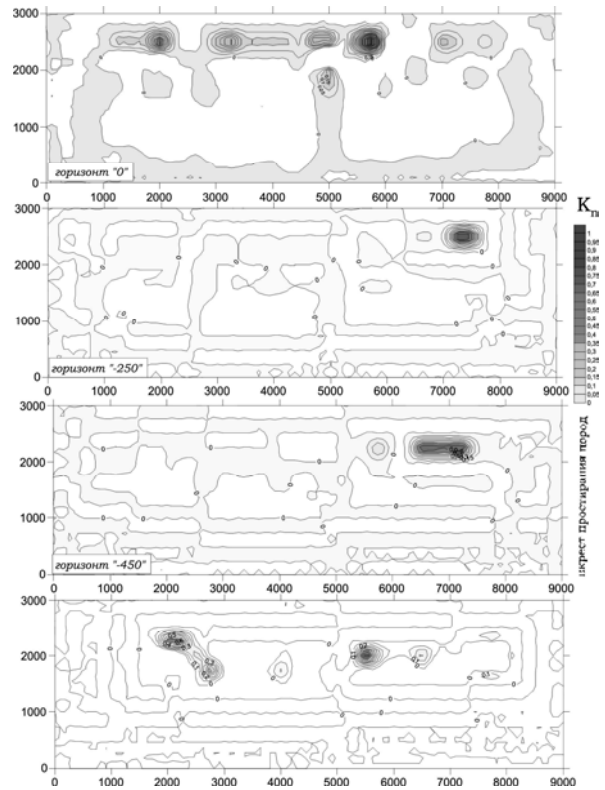


Рисунок 10 – Погоризонтне розподілення значень нормованої складової тензора проникності  $K_n$  вквост простирания горних порід

Анализ результатов расчета нормированной составляющей тензора проницаемости по нормали к напластованию пород  $K_n$  также свидетельствует о кардинальном изменении структуры вмещающих пород, произошедшем при необратимых деформациях с образованием новых систем трещин и локализацией необратимых деформаций в плоскостях сдвигов, что многократно увеличило проницаемость массива горных пород и его фильтрационные свойства.

Наиболее представительным экспериментальным материалом по изменению фильтрационных характеристик вмещающих пород являются данные о распределении в массиве вредных загрязняющих веществ (ВЗВ). Проверим выдвинутую гипотезу о приобретенной квазиоднородности массива по фильтрационным свойствам, путем статистической обработки экспериментальных данных о распределении ВЗВ.

С целью визуализации ореолов распространения различных ВЗВ в массиве горных пород, выявления закономерностей характера их распределения, определения вероятных путей их миграции и параметров, влияющих на скорость движения загрязнителей, построена статическая 3D модель массива для исследуемого участка с помощью RockWare2002 (демонстрационная версия). Моделирование загрязнения выполнялось на основе около 1500 проб, полученных при разведке очагов загрязнения и создании сетей наблюдательных скважин ПО «Укруглегеология». В процессе моделирования использовались данные по 58 скважинам и восьми основным загрязнителям, относящимся к классу легких нефтепродуктов: хлорбензол, бутилацетат, дифенелолпропан, стирол, толуол, МЕР, моноэтилфосфат, м-, п-, о-ксилолы и др. (рис. 11).

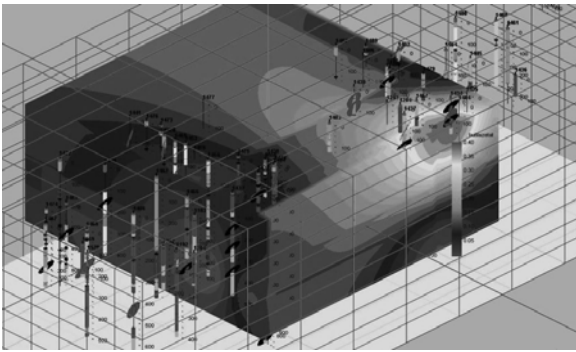


Рисунок 11 – Модель распространения концентраций бутилацетата

Для выявления пространственных закономерностей характера распределения различных ВЗВ в массиве горных пород, полученные статические поэлементные модели были нарезаны горизонтальными и вертикальными сечениями с интервалом 100-200 м. Затем на каждый срез были вынесены основные направления координатной сетки таким образом, чтобы точка пересечения координатных осей находилась в центре "окружности", характеризующей максимальные концентрации загрязнителя на данной глубине (рис. 12). Часть моделей была нарезана в направлении простирания основных тектонических структур, которые задают направление простирания ореолов загрязнения ВЗВ.

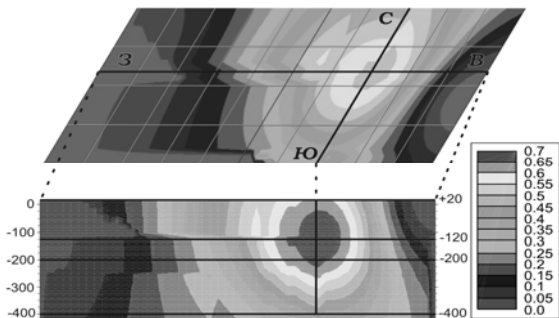


Рисунок 12 – Горизонтальное и вертикальное сечение модели (загрязнитель о-ксилол)

Использование средств моделирования RockWare2002 позволило визуализировать тело загрязнения в объеме массива горных пород и интерполировать значение концентрации загрязнителя в любой точке массива независимо от пространственного расположения места отбора проб, в том числе и координатно-заданной. Благодаря этому, на определенных ранее направлениях горизонтальных и вертикальных сечений, были выделены численные значения концентраций ВЗВ. Данные значения отбирались через равный интервал, соответствующий шагу изолиний, отображающих концентрации соответствующего загрязнителя (например, для о-ксилола шаг равен 0,05 – рис. 11) с пространственной привязкой данной точки относительно центра очага максимальной концентрации для конкретного среза модели. Отобранные значения концентраций исследуемых загрязнителей были нормированы относительно максимального значения, встретившегося на конкретном срезе.

В качестве пространственного показателя распределения ВЗВ использован параметр, характеризующий удаленность точки с известной концентрацией загрязнителя от центра очага загрязнения в единицах, приведенных к размеру радиуса тела максимально обнаруженной концентрации загрязнителя на данном срезе. Более подробное описание предложенной методики описано в работе [7].

На основании этих данных были построены графики зависимости нормированных концентраций поллютантов от пространственной составляющей. Всего были построены около пятидесяти графиков по четырем основным загрязнителям, с числом горизонтальных и вертикальных сечений от двух до четырех. Полученные для каждого загрязнителя зависимости были рассмотрены совместно как в плоских сечениях (на одном горизонте во всех направлениях – рис. 12), так и в вертикальных (в одном направлении на разных горизонтах – рис. 13).

Близость функций распределения загрязнителей оценивалась коэффициентом тесноты связи, который рассчитывается по формуле:

$$k_{св} = 1 - \frac{\int_a^b (f(x) - g(x))^2 dx}{\int_a^b g(x)^2 dx} \quad (6)$$

Коэффициент тесноты связи рассчитывался между кривыми, характеризующими распределение загрязнителя на одном горизонте в направлении основных осей координатной сетки: для стирола (горизонт +120) –  $k_{свЗ-С} = 0,88$ ,  $k_{свВ-С} = 0,9$ ,  $k_{свЗ-В} = 0,95$ , для бутилацетата (горизонт +120) –  $k_{свВ-С} = 0,97$ ,  $k_{свВ-З} = 0,95$ ,  $k_{свЗ-С} = 0,92$ , для о-ксилола (горизонт -120) –  $k_{свЗ-В} = 0,83$ ,  $k_{свЮЗ} = 0,75$ ,  $k_{свЮ-В} = 0,71$ ; а также в одном направлении по разным горизонтам: стирол (запад) –  $k_{св} = 0,95$ , бутилацетат (север) –  $k_{св} = 0,88$ . Столь значительные коэффициенты тесноты связи говорят о высокой степени совпадения характера распределения ВЗВ в различных направлениях в толще углепородного массива.



Полученные результаты, свидетельствуют о типомом распределения группы ВЗВ как по горизонтальным, так и по вертикальным сечениям, что говорит о трансформации массива в некую однородно трещиноватую среду и подтверждает выдвинутую гипотезу о приобретенной квазиоднородности фильтрационных свойств массива вследствие многократных техногенных нагрузок. Однако заметим, что данная гипотеза справедлива для вмещающих пород внутри блоков [8], на которые массив делят крупноамплитудные тектонические разрывы [9].

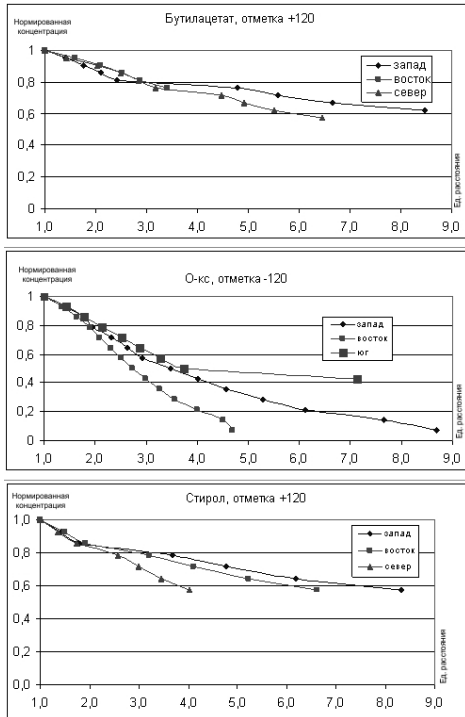


Рисунок 12 – Графики распределения ВЗВ по плоским сечениям

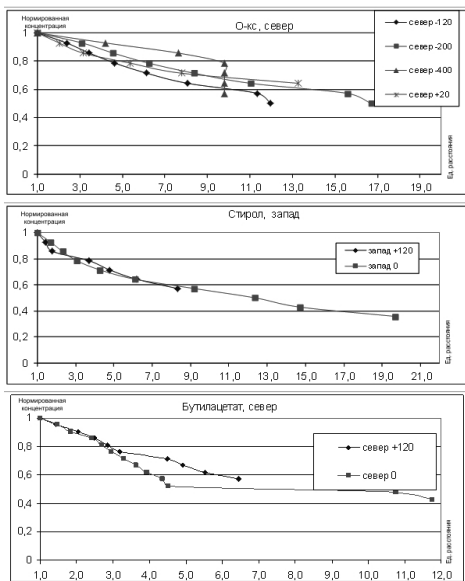


Рисунок 13 – Графики однонаправленных погоризонтных распределений ВЗВ

Еще раз подчеркнем, что именно долгосрочная многократная подработка угольных пластов в условиях крутого падения приводит к кардинальному изменению естественной структуры вмещающих пород, развитию интенсивной техногенной трещиноватости и, как следствие, многократному увеличению проницаемости и фильтрационных характеристик горных пород.

Визуализация зон влияния аппроксимированных контуров горных работ на разрезе вкрест простирания горных пород (рис. 14) иллюстрирует интенсивность техногенной нагрузки на исследуемом участке. При этом следует отметить, что приведенная модель, является первым приближением действительного состояния массива.

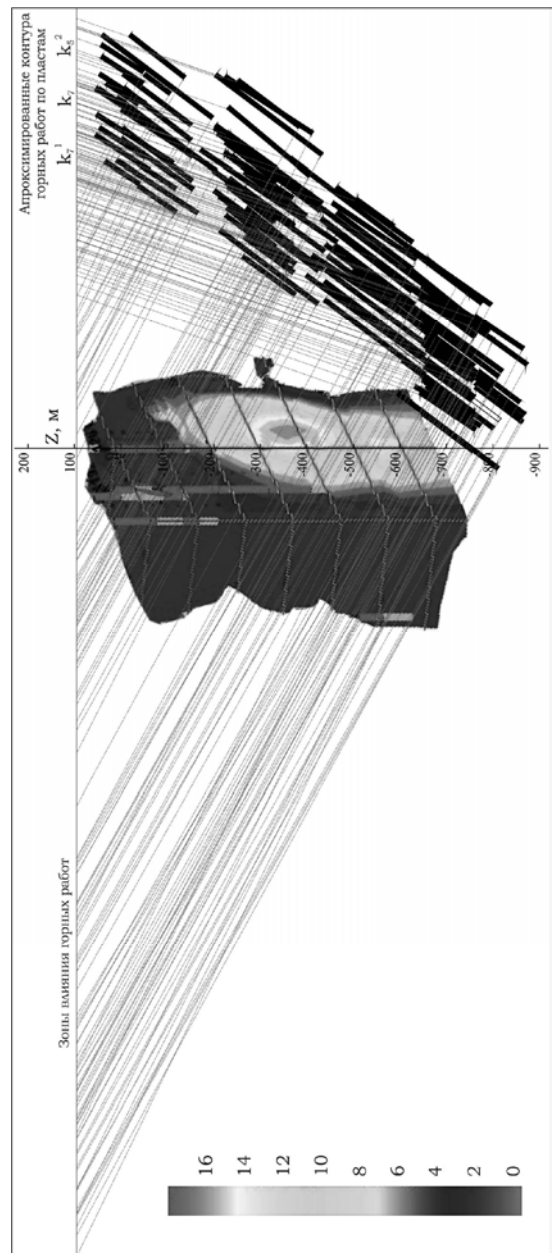


Рисунок 14 – Разрез вкрест простирания горных пород с визуализацией зон влияния аппроксимированных контуров горных работ и очага загрязнения ацетоном

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 еще более интенсивному изменению деформационных полей и составляющих тензора проницаемости.

**ВЫВОДЫ.** 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.

Анализ результатов расчета нормированной составляющей тензора проницаемости по нормали к напластованию пород *K<sub>л</sub>* также свидетельствует о кардинальном изменении структуры вмещающих пород, произошедшем при необратимых деформациях с образованием новых систем трещин и локализацией необратимых деформаций в плоскостях сдвигов, что многократно увеличило проницаемость массива горных пород и его фильтрационные свойства.

В результате статистической обработки экспериментальных данных выявлен типовой характер в распределении ВЗВ, что подтверждает выдвинутую гипотезу о приобретенной квазиоднородности массива по фильтрационным свойствам.

Следствием указанного вывода является принципиальная возможность решения обратной задачи – восстановления и уточнения фильтрационных свойств массива по картам распределения полей концентраций загрязнителей, что представляет интерес для последующего прогноза экологической ситуации в регионе.

По мнению автора, разработанный инкрементальный подход, заключающийся в пошаговой временной оценке трансформаций полей напряжений, деформаций и проницаемости массива в процессе подработки, может служить базисом для решения задач прогноза развития контаминационных процессов в условиях многократной систематической подработки массивов горных пород.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Предварительная оценка эколого-геологического риска затопления шахт Горловской горно-городской агломерации / Госк Э., Сляднев В.А., Юркова Н.А., Яковлев Е.А. // Эко-технологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 3. – С. 60–65.
2. Сдвигение и разрушение горных пород / С.Д. Викторов, М.А. Иофис, С.А. Гончаров; отв. ред. К.Н. Трубецкой. – М.: Наука, 2005. – 277 с.
3. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1979. – 269 с.
4. Ходырев Е.Д. Математическая модель фильтрации в трещиновато-пористых гетерогенных средах // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАНУ, 2012. – № 11. – С. 130–136.
5. A.K.M. Badrul Alam, Masaki Niioka, Yoshiaki Fujii, Daisuke Fukuda, Jun-ichi Kodama (2014), "Effects of confining pressure on the permeability of three rock types under compression", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, no. 1, pp. 49–61 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.researchgate.net/publication/259522140\\_Effects\\_of\\_confining\\_pressure\\_on\\_the\\_permeability\\_of\\_three\\_rock\\_types\\_under\\_compression](http://www.researchgate.net/publication/259522140_Effects_of_confining_pressure_on_the_permeability_of_three_rock_types_under_compression)
6. Оценка свойств техногенных коллекторов метана с учетом главных составляющих деформаций горного массива в зоне полных сдвижений / Кулибаба С.Б., Ходырев Е.Д. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАНУ, 2013. – № 13, част. I. – С. 118–127.
7. 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.
8. Влияние тектонических структур на ореолы рассеяния загрязняющих веществ в подработанном массиве горных пород / Дуброва Н.А., Дьяченко Н.А. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАНУ, 2011. – № 9, част. I. – С. 485–501.
9. Забродин А.С. Опыт поисков смещенной части угольного пласта в нарушенных месторождениях. – М.: Углетехиздат, 1952. – 240 с.

## MEASUREMENT OF CHANGE OF ROCK MASS FILTRATION CHARACTERISTICS IN CONSEQUENCE OF LONG-TIME REPEATED MINING

**N. Dubrova**

Ukrainian State Research and Design Institute of Mining Geology, Rock Mechanics and Mine Surveying, National Academy of Sciences of Ukraine (UkrNIMI, NAS of Ukraine)  
vul. Chelyuskintsev 291, Donetsk, 83004, Ukraine. E-mail: dubrovan@mail.ru

In conditions of the Central part of the Donetsk Coal Basin (Donbas), where at the undermined territories there are many large chemical plants, the problem of penetration of surface pollutants in mine workings has blown up. Some humans were severely effected, and there were lethal outcomes. This dictated the necessity to evaluate conditions of enclosing rocks exposed to years-long mining. It has been determined that long-time repeated mining led to formation within rock mass of quasi-regular network of vertically-oriented man-made reservoirs. The rate of change in permeability of enclosing rocks due to the impact of superlimiting deformations has been evaluated. Hypothesis was made that

typical for rock mass natural permeability are fundamental changes and quasihomogeneous filtration properties, that has been demonstrated experimentally for distribution of toxic pollutants.

**Kew words:** repeated undermining, deformations, man-made reservoirs, quasihomogeneity.

#### REFERENCES

1. Gosk, E., Slyadnev, V.A., Yurkova, N.A., Yakovlev, E.A. (2004), "Forward estimate of eco-geological risk of Gorlovka urban complex mine flooding", *Ekotekhnologii i resursoberezhnie*, no. 3, pp. 60–65.
2. Viktorov, S.D., Iofis, M.A. and Goncharov, S.A. (2005) *Sdvizhenie i razrushenie gornyih porod* [Strike shift and destruction of rock], Nauka, Moscow, Russia.
3. Kartashov, Yu.M., Matveev, B.V., Miheev, G.V., and Fadeev, A.B. (1979), *Prochnost i deformiruemost gornyih porod* [Rocks rigidity and deformability], Nedra, Moscow, Russia.
4. Hodyirev, E.D. (2012), "Mathematical model of filtration in a fractured porous heterogeneous environment", *Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine*, no. 11, pp. 130–136.
5. A.K.M. Badrul Alam, Masaki Niioka, Yoshiaki Fujii, Daisuke Fukuda, Jun-ichi Kodama (2014), "Effects of confining pressure on the permeability of three rock types under compression", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, no. 1, pp. 49–61 [electronic resources], available at: [http://www.researchgate.net/publication/259522140\\_Eff](http://www.researchgate.net/publication/259522140_Eff)ects\_of\_confining\_pressure\_on\_the\_permeability\_of\_three\_rock\_types\_under\_compression
6. Kulibaba, S.B., Hodyirev, E.D. (2013) "Estimating properties of man-made methane reservoirs taking into account the essential constituents of rock mass", *Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine*, no. 13, pp. 118–127.
7. Driban, V.A., Dubrova, N.A. (2012), "Studying of quantity-related and dimensional distributed parameters of hazardous pollutants in a man-made faulted rock mass of complex structure", *Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine*, no. 11, pp. 306–318.
8. Dubrova, N.A., Diachenko, N.A. (2011), "Influence of tectonic structures on the dissipation coroneae of pollutants in the underworked rock mass", *Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine*, part 1, no. 9, pp. 485–501.
9. Zabrodin, A.S. (1952), *Opyit poiskov smeschennoy chasti ugolnogo plasta v narushennyih mestorozhdeniyah* [Experience of search of staggered strippable coal in dislocated deposit], Ugletehzdat, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 23.01.2014.