

УДК 556.3

**ИЗУЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННОМ МАССИВЕ
ГОРНЫХ ПОРОД СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ**

Дрибан В. А., Дуброва Н. А.
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Висунуто гіпотезу про квазіоднорідність фільтраційних властивостей масиву гірських порід на ділянці дослідження внаслідок багаторічної багаторазової безперервної підробки в особливо складних гірничо-геологічних умовах. Гіпотеза підтверджена статистичним обробленням експериментальних даних.

We hypothesize quasihomogeneity of filtration properties of rock mass at the survey area as a result of long-term multiple continuous underworking in especially complicated mining-geological conditions. Our hypothesis is confirmed by statistical processing of experimental data.

Загрязнение массива горных пород в результате техногенной деятельности человека имеет особую остроту в горнодобывающих регионах, где на подрабатываемой территории существуют источники поверхностного загрязнения вредными веществами. Центральный геолого-промышленный район Донбасса – старейший горнодобывающий регион с интенсивно развитыми поверхностными индустриальными производствами. На его территории расположены горные отводы 28 шахт, крупное производственное объединение «Стирол», Горловский химзавод, Никитовский ртутный комбинат и целый ряд других объектов машиностроительной, металлургической и химической промыш-

ленности. В результате сброса промстоков в речную сеть, утечек из поврежденных сооружений, фильтрации из прудов-накопителей промышленных предприятий, выбросов в атмосферу, сброса шахтных вод и наличия многочисленных горящих отвалов в Горловском промышленном узле сложилась сложная экологическая обстановка.

Высокая степень техногенной нагрузки привела к аварийной ситуации отравления шахтной атмосферы летально опасными концентрациями вредных загрязняющих веществ (ВЗВ) [1-4] в 1989-1990 гг. на шахтах Углегорская и Александр-Запад, что показало необходимость изучения путей миграции ВЗВ в подработанном массиве горных пород. По предварительным оценкам [4] площадная миграция химических загрязнителей Горловской горно-городской агломерации связана преимущественно с ростом проницаемости породного массива вследствие влияния техногенных факторов, которые способствовали формированию дополнительных путей миграции загрязнителей в горные выработки и подземные воды.

Сложность изучения и прогнозирования распространения загрязнителей в массиве горных пород вызвана необходимостью учета многочисленных техногенных и эндогенных факторов влияния (тектонических, гидрогеологических, геохимических, геодинамических, геомеханических), что представляет собой весьма сложную задачу. Ситуация осложняется принадлежностью района исследования к территории с чрезвычайно высокой степенью техногенной нагруженности, как поверхностной, так и внутри массива.

Актуальность данной работы обусловлена недостаточной изученностью процессов распространения ВЗВ, механизмов формирования геометрии ореолов загрязнения и распределения очагов максимальных концентраций загрязнителей в условиях долгосрочной многократной систематической подработки горного массива, с учетом сложного геологического строения и высокой степени тектонической нарушенности исследуемой территории.

Территория исследования (общей площадью около 45 км²) на которой расположены горные отвалы шахт им. Калинина, Кондратьевка, Александр-Запад (рис. 1) подвержена долгосроч-

ным многократным систематическим техногенным нагрузкам. Шахта Александр-Запад работает с 1957 г. С 1989 г. горнодобывающее предприятие переведено в режим сухой консервации в связи с упомянутой аварийной ситуацией. Шахта им. Калинина сдана в эксплуатацию в 1985 году, восстановлена после затопления 1945 г. Шахта Кондратьевка была сдана в эксплуатацию в 30-х годах прошлого столетия и эксплуатация шахты прекращена в 1999 г. с затоплением стволов до горизонтов 1100 и 980 м. Многократность нагрузок обусловлена большим количеством отрабатываемых угольных пластов. Так шахтой Александр-Запад отрабатывались более 10 угольных пластов на горизонтах от 150 до 450 м. В пределах ее горного отвода на более глубоких горизонтах производилась разработка угольных пластов шахтами им. Калинина и Кондратьевка. Шахтами им. Калинина и «Кондратьевка» отработка производилась по более чем 20 угольным пластам до глубины 750-1000 м. Следует отметить, что при этом породы карбона характеризуются преобладающим моноклиналильным залеганием северо-восточного падения под углом 50-70 °.

Как следствие, в процессе ведения горных работ, происходит нарушение естественного состояния вмещающих пород: природной слоистости массива, усугубление естественной трещиноватости массива эксплуатационными трещинами техногенной природы, разрушение природных водоупоров, что способствует изменению фильтрационных свойств массива.

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

Ситуация осложняется многочисленными проходками квершлагов и сбоек, проходкой штреков по разрабатываемым пластам, обрушением кровли над выработанным пространством с образованием над ним разуплотненных трещиноватых зон.

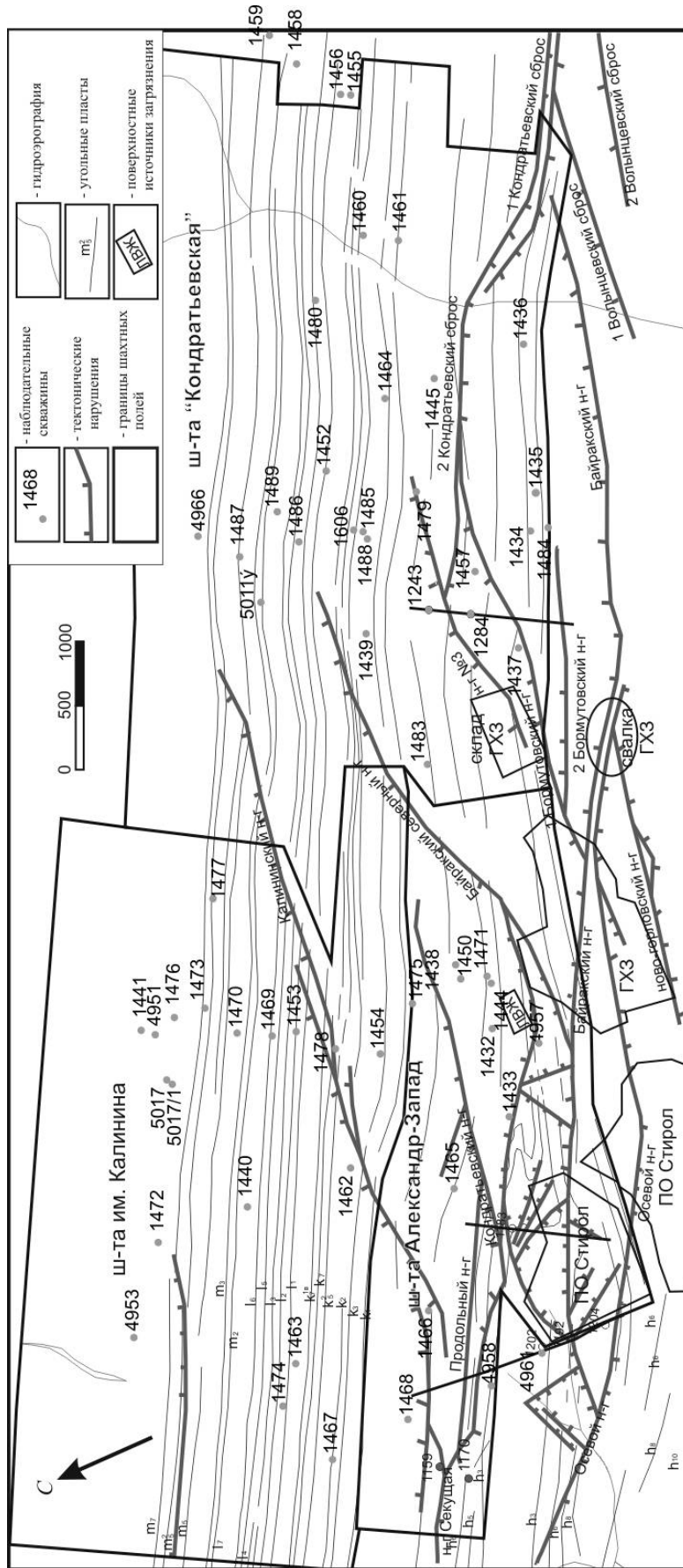


Рис. 1. Обзорная геологическая карта территории исследования с детализацией поверхностных объектов (источники загрязнения) и гидронаблюдательных скважин

Немаловажно, что вышеупомянутое развитие техногенной трещиноватости происходит в условиях и без того сложного геологического строения исследуемого участка, так как территория исследования характеризуется сложным строением, где имеют место многочисленные тектонические разрывы продольного (Осевой, Продольный и др.) и широтного (Калининский, Байрацкий, Кондратьевский) простираний, сопровождающиеся развитой малоамплитудной нарушенностью. Коэффициент тектонической нарушенности на некоторых участках исследуемой площади достигает значения 89,6 [5].

То есть в результате ведения горных работ произошло кардинальное изменение природной проницаемости массива каменноугольных пород и столь же значительное изменение гидродинамической структуры потоков подземных вод.

Отмеченные выше особенности разработки угольных пластов в сочетании с природной геолого-гидрогеологической обстановкой дают основания выдвинуть гипотезу о приобретенной квазиоднородности фильтрационных свойств массива горных пород. Это, в свою очередь, дает возможность построения упрощенной модели распространения ВЗВ в массиве горных пород. При этом следует подчеркнуть, что основным фактором, обусловившим изменения фильтрационных свойств массива, является именно многократная долгострочная систематическая подработка.

Целью исследования является проверка выдвинутой гипотезы о квазиоднородности фильтрационных свойств массива путем статистической обработки экспериментальных данных, а также выявление закономерностей в характере распределения различных ВЗВ в массиве для дальнейшего прогнозирования экологического состояния в регионе.

На территории горных отводов шахт «Кондратьевка», им. Калинина и Александр-Запад выделено шесть потенциальных поверхностных источников загрязнения: Горловский химзавод (ГХЗ), ПО «Стирол», склад и свалка ГХЗ, а также склад ЛВЖ, которые являются источниками техногенного, точечного, непрерывного во времени воздействия токсичных веществ на окружающую среду.

Территория, на которой расположены потенциальные источники поверхностного загрязнения, в течение многих лет неоднократно подрабатывались, что не могло не отразиться на их техническом состоянии. Кустарная добыча угля в дореволюционный и довоенный периоды с помощью многочисленных шурфов и мелких шахт, закладываемых на выходах угольных пластов, а также процессы трещинообразования, имеющие место при обрушении пород кровли, усилили связи между водоносными горизонтами и системой горных выработок.

Безусловно, данные способы ведения горных работ не способны являться основными факторами, влияющим на изменение свойств всего массива горных пород, но в условиях решения задачи загрязнения массива поверхностными источниками, могут оказаться весьма значимыми для выделения локальных зон и должны быть приняты во внимание.

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. Программный продукт RockWare2002 позволил отобразить не только ореолы распространения ВЗВ, но и отрабатываемые и не отрабатываемые угольные пласты, пласты песчаников, водоупорные породы, крупные тектонические нарушения и уровень подземных вод. Моделирование 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, дефинелолпропан, стирол, толуол, МЕР, моноэтилфосфат, М-, П-, О-ксилолы и др. (рис. 2).

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 направле-

ния координатной сетки таким образом, чтобы точка пересечения координатных осей находилась в центре "окружности", характеризующей максимальные концентрации загрязнителя на данной глубине (рис. 3). Часть моделей была нарезана в направлении простирания основных тектонических структур, которые задают направление простирания ореолов загрязнения ВЗВ [6].

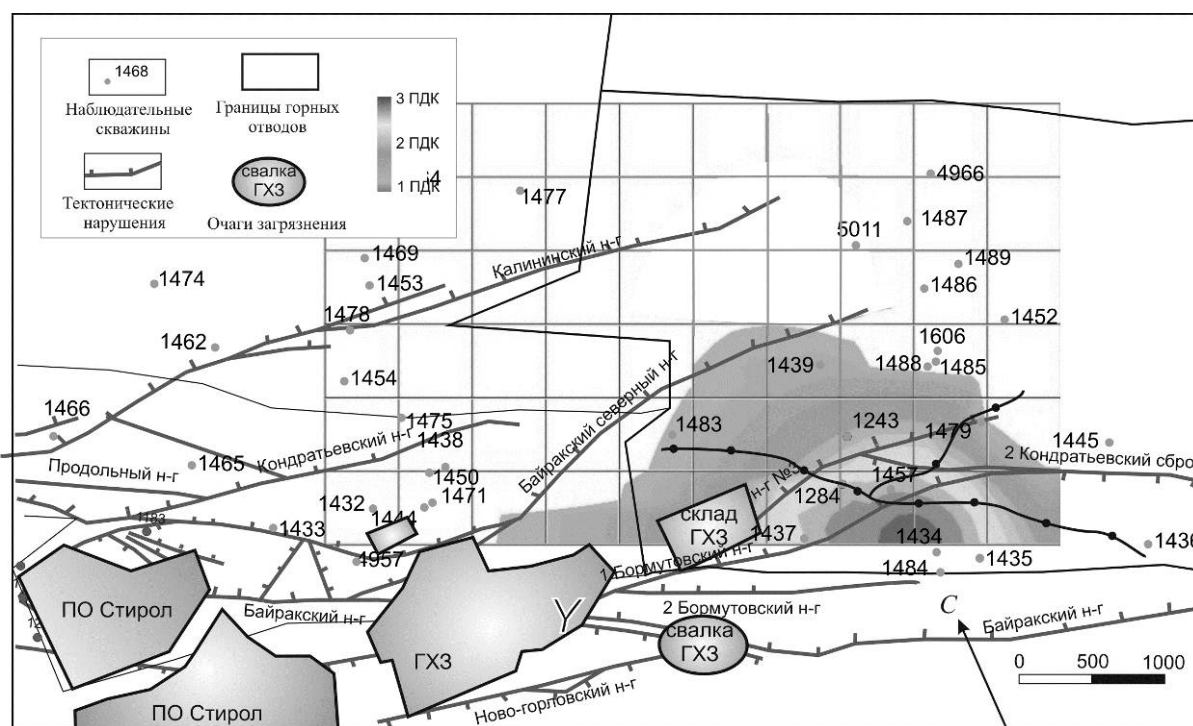


Рис. 2. Визуализация ореола рассеяния бутилацетата в районе исследования

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 – см. рис. 3) с пространственной привязкой данной точки относительно центра очага

максимальных концентраций для конкретного среза модели. Отобранные значения концентраций исследуемых загрязнителей были нормированы относительно максимального значения, встретившегося на конкретном срезе.

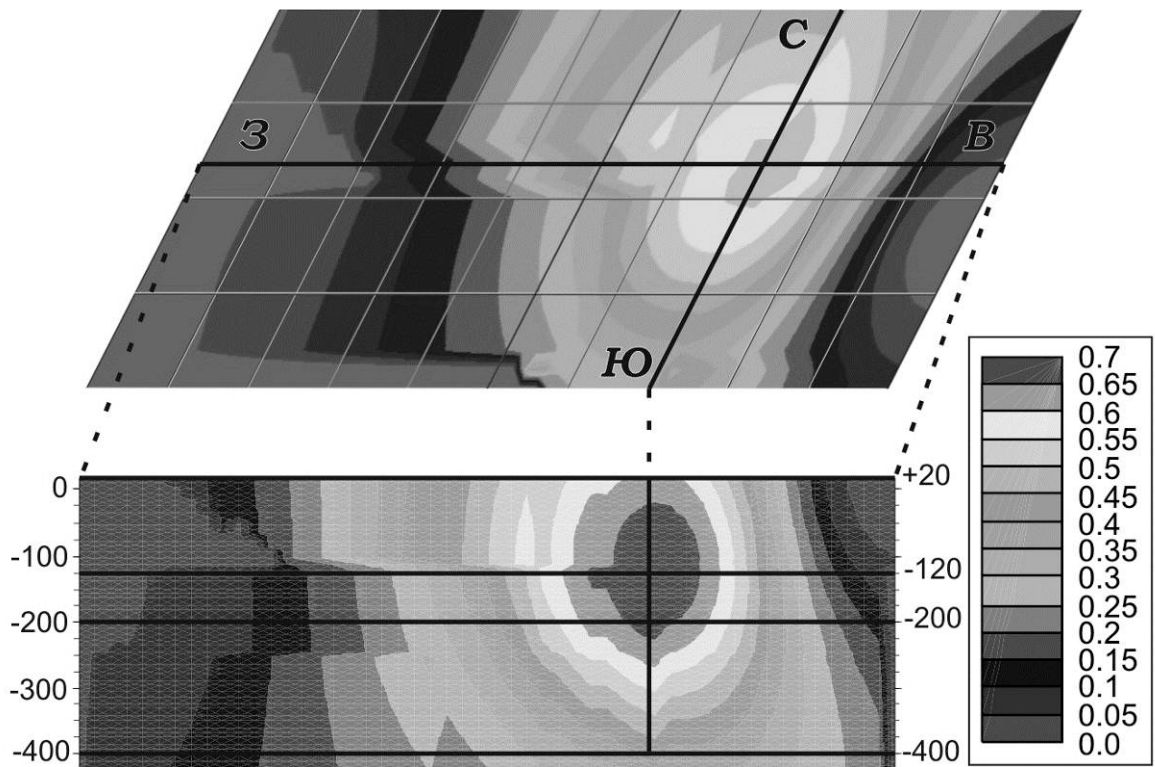


Рис. 3. Горизонтальное и вертикальное сечение модели (загрязнитель О-ксилол)

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.

Основываясь на этом, все расстояния, характеризующие удаленность точки с фиксированной концентрацией загрязнителя от центра очага максимальной его концентрации были приведены к значению R_{max} для каждого среза. Графическое пояснение для использованной методики приведено на рисунке 4. На основании этих данных были построены графики зависимости нормирован-

ных концентраций поллютантов от пространственной составляющей.

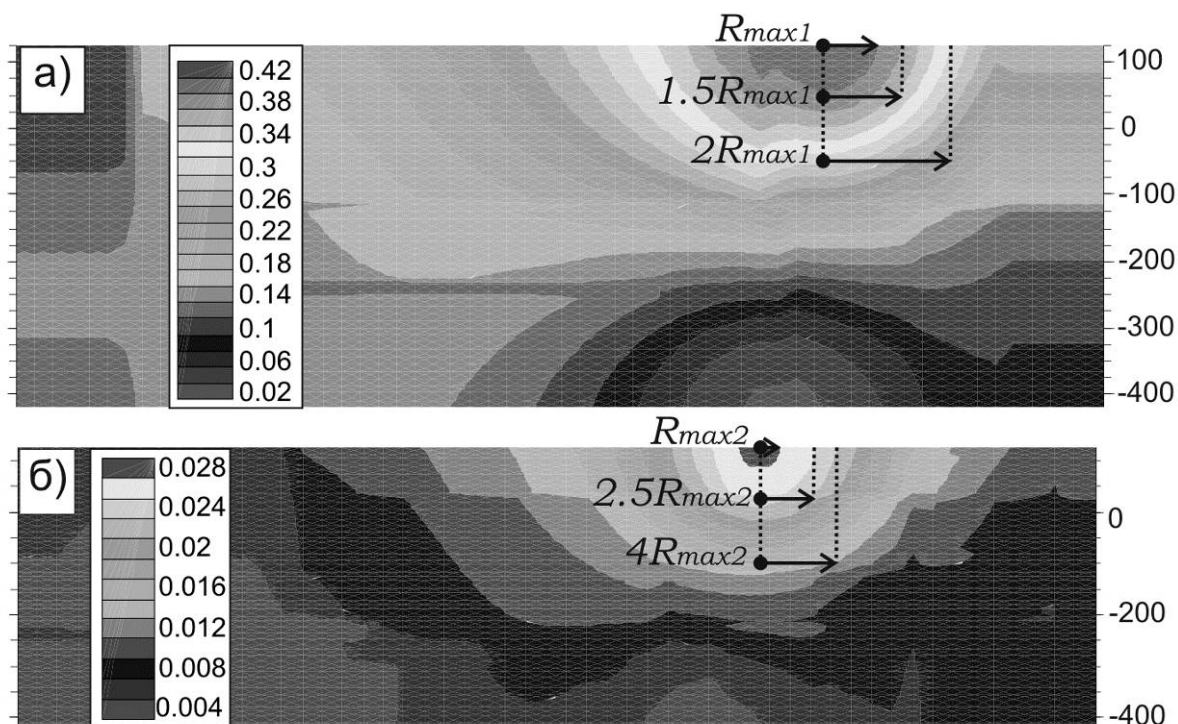
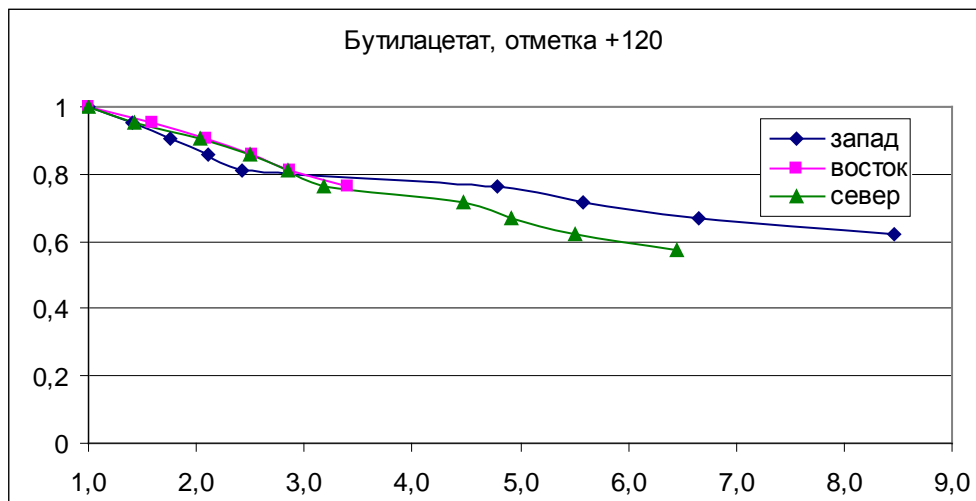


Рис. 4. Графическое пояснение использованной методики:
а) бутилацетат, б) стирол

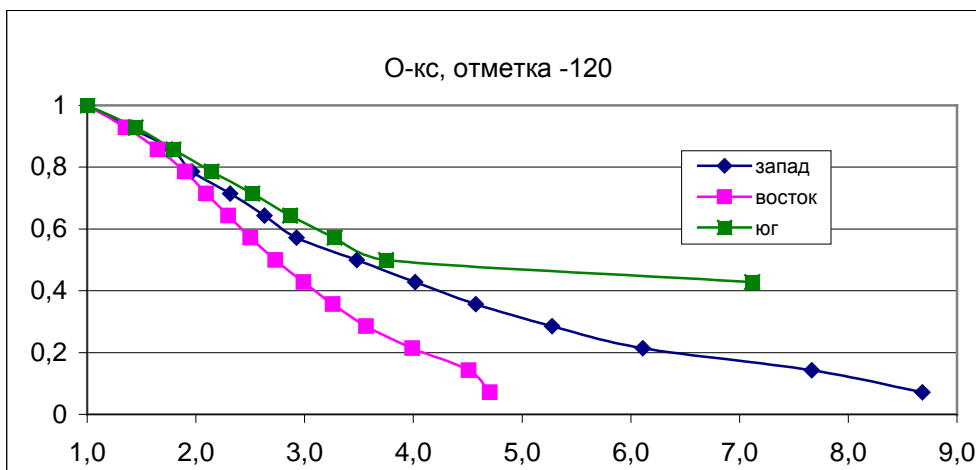
Применение данной методики обосновано необходимостью подтверждения выдвинутой гипотезы и выявления закономерностей в распределении всех исследуемых компонентов на основе экспериментальных данных.

Всего были построены около пятидесяти графиков по четырем основным загрязнителям, с числом горизонтальных и вертикальных сечений от 2-х до 4-х.

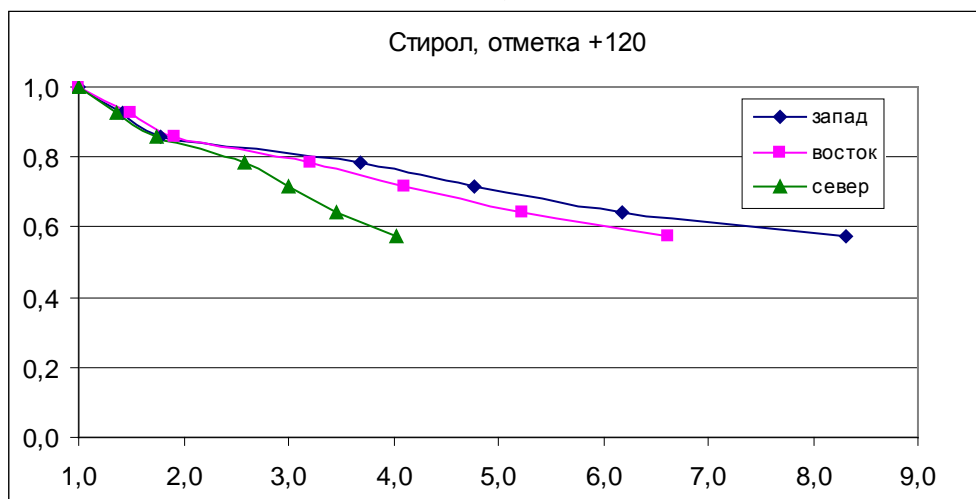
Полученные для каждого загрязнителя зависимости были рассмотрены совместно как в плоских сечениях (на одном горизонте во всех направлениях – рисунок 5), так и в вертикальных (в одном направлении на разных горизонтах – рисунок 6). Другими словами, в анализе были задействованы одни и те же графики, лишь разнонаправлено сгруппированные, но, не смотря на это, результаты показали типовые распределения в любом из выбранных направлений.



а)

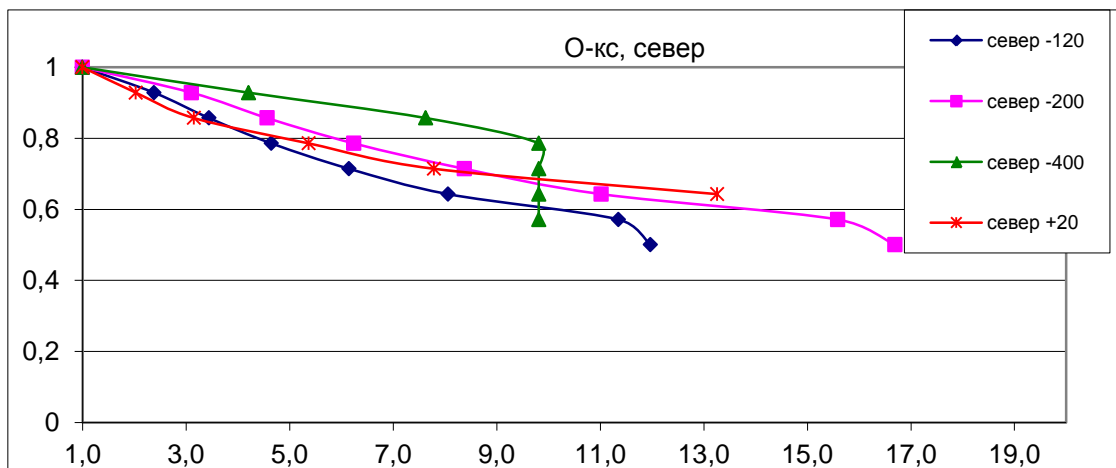


б)

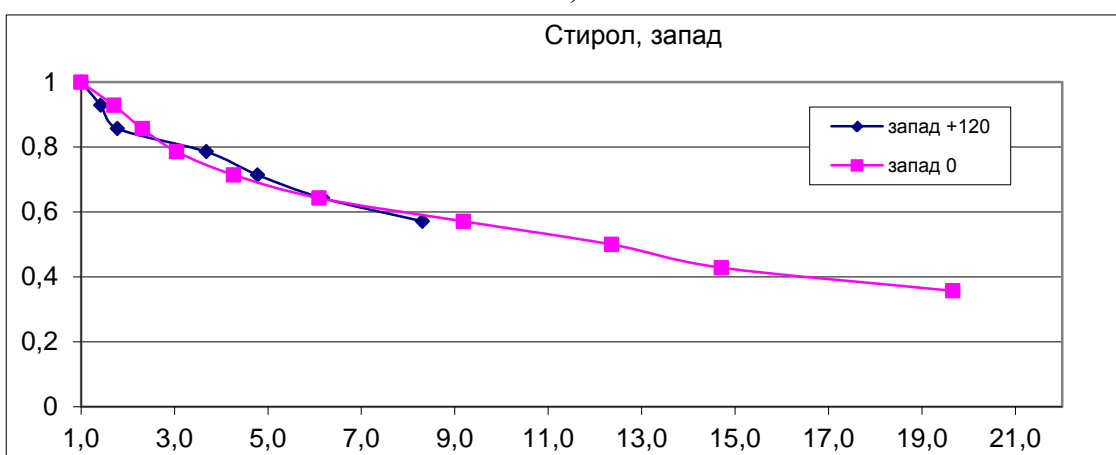


в)

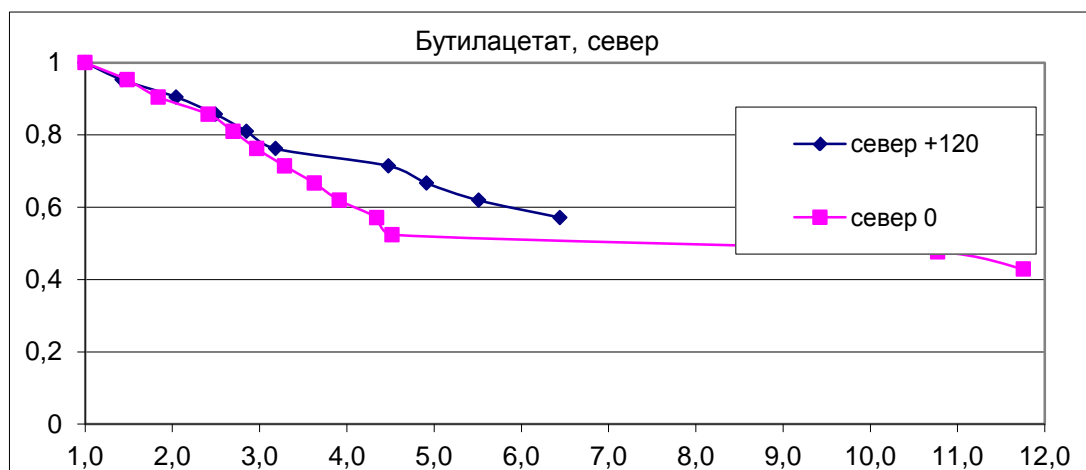
Рис. 5. Графики распределения ВЗВ по плоским сечениям



а)



б)



в)

Рис. 6. Графики однонаправленных погоризонтных распределений

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

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

Коэффициент тесноты связи рассчитывался между кривыми, характеризующими распределение загрязнителя на одном горизонте в направлении основных осей координатной сетки: для стирола (горизонт +120) – $k_{cb3-C} = 0,88$, $k_{cbB-C} = 0,9$, $k_{kcb3-B} = 0,95$, для бутилацетата (горизонт +120) – $k_{cbB-C} = 0,97$, $k_{cbB-3} = 0,95$, $k_{kcb3-C} = 0,92$, для О-ксилола (горизонт -120) – $k_{cb3-B} = 0,83$, $k_{cbЮ3} = 0,75$, $k_{cbЮ-B} = 0,71$; а также в одном направлении по разным горизонтам: стирол (запад) – $k_{cb} = 0,95$, бутилацетат (север) – $k_{cb} = 0,88$. Столь значительные коэффициенты тесноты связи говорят о высокой степени совпадения характера распределения ВЗВ в различных направлениях в толще углепородного массива.

Итак, проведенный анализ и предложенная методика обработки экспериментальных данных позволяют сделать вывод о том, что под влиянием многократных подработок из слоистого массива, представленного чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов, формируется техногенный массив с квазиоднородными фильтрационными свойствами. Следует отметить, что в указанных условиях существенным образом снижается влияние многочисленных природных геологических неоднородностей в строении массива на распространение поллютантов.

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.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Разработка методических положений прогноза загрязнения горного массива поверхностными источниками в условиях месторождения, эксплуатируемого подземным способом (применительно к шахтам Центрального района Донбасса): отчет о НИР / фонд УкрНИМИ НАНУ; рук. В.А. Канин; ГР 1484, – Донецк, 1990. – 101 с.
2. Результаты разведки очагов загрязнения и созданию сети наблюдательных скважин на полях шахт Центрального района Донбасса : отчет о НИР / фонд Госуглепром Украины, ПО «Укруглегеология», ЦДГРЭ; рук. О.А. Куш; ГР 39-90, – Донецк, 1993. – 117 с.
3. Предварительная оценка регионального влияния закрытия шахт Донецко-Макеевско-Горловско-Енакиевской горно-городской агломерации на активизацию процессов подтопления, ухудшение инженерно-геологических условий и рост экологической уязвимости подземных вод : информационный бюллетень № 2 / фонд ИГЭПД; рук. Е.А. Яковлев, – Киев-Донецк-Копенгаген, 2001. – 172 с.
4. Предварительная оценка эколого-геологического риска затопления шахт горловской горно-городской агломерации / Э. Госк, В.А. Сляднев, Н.А. Юркова, Е.А. Яковлев // Экотехнологии и ресурсосбережение, 2004. – № 3. – С. 60 – 65.
5. Забродин А.С. Опыт поисков смещенной части угольного пласта в нарушенных месторождениях. – М. : Углетехиздат, 1952. – 240 с.
6. Дуброва Н.А. Влияние тектонических структур на ореолы рассеяния загрязняющих веществ в подработанном массиве горных пород / Дуброва Н.А., Дьяченко Н.А. // Збірник наукових праць УкрНДМІ. Випуск 9 / Під. заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2011. – С. 485 – 501.