

## ВІЗУАЛЬНІ ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ ДИНАМІКИ ТЕХНОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРИЗЕМНЕ ПОВІТРЯ

**Abstract.** The article suggests computer monitoring and analysis of the dynamics of anthropogenic loads on the ambient air of the city in order to identify disorders of homeostasis. The paper presents examples of visualization of seasonal fluctuations in the phase space of ecological indices.

**Вступ.** Сучасні інформаційно-аналітичні системи екологічного моніторингу докільця орієнтовані на вирішення широкого кола задач екологічної безпеки. Вони включають інформаційні технології аналізу даних, які допомагають перейти на новий рівень дослідження цілого комплексу процесів та закономірностей, відтворюваних за даними моніторингу окремих регіонів або територіальних систем.

До найбільш поширених напрямів використання інформаційних систем (зокрема, ГІС) належить місцеве самоврядування. В країнах Європи вже більше ніж 100 000 муніципалітетів використовують ГІС як інструмент для формування рішень з питань управління міським господарством, планування стратегій розвитку території міста або окремих районів [1].

Для оперативного управління безпекою на територіальному рівні в інформаційних системах бажано передбачити впровадження спеціалізованих засобів моніторингу екологічного стану з зворотним зв'язком, спрямованих на завчасне виявлення небезпечних ситуацій й попередження негативних наслідків. Розробка таких засобів залишається особливо актуальною для міст та промислових регіонів, населення яких протягом багатьох років і десятиріч перебуває під тиском високих техногенних навантажень.

**Постановка задачі.** Основна мета даної роботи полягає в розробці методів та інформаційних технологій, спрямованих на автоматизацію задач моніторингу, систематизації та візуалізації даних про екологічний стан урбанізованих територій. Нові технології представлення даних моніторингу допомагають надати великі обсяги інформації в інтегрованій візуальній формі, яка максимально сприяє своєчасному виявленню небезпечних ситуацій та прийняттю ефективних управлінських рішень.

На даному етапі визначено два напрямки візуального представлення результатів аналізу даних моніторингу. До першого напрямку відносимо створення екологічних карт, де відображено рівні техногенних навантажень на досліджувані території та відповідні ризики для населення.

Другий напрям включає засоби дослідження змін у часі щодо тих складних процесів техногенного забруднення, які відбуваються протягом

останніх років. Запропоновано візуальні засоби дослідження динаміки моніторингових даних у часі з метою виявлення небезпечних ситуацій, що вказують на можливість порушень гомеостазу системи.

Нагадаємо, що під гомеостазом розуміється стан рівноваги складної природної або соціальної системи, який підтримується за допомогою зворотних зв'язків. В даному випадку поняття гомеостазу розглядається для територіально-промислових комплексів (урбанізованих територій), тобто включає природні, соціальні та техногенні компоненти.

Відомо, що є встановлені нормативи для обмеження вмісту шкідливих речовин у повітрі, воді, продуктах тощо, але вони занадто часто перевищуються. Тому для оцінки стану екологічної безпеки запропоновано оперувати з ризиками, за якими стоять конкретні показники збільшення кількості захворювань. Наприклад, виникнення 25 або 30 додаткових випадків захворювання в розрахунку на 100 осіб у порівнянні з їх фоновою кількістю для досліджуваної території може вважатися досить небезпечною ситуацією для здоров'я населення даного району.

Щоб перейти до формального визначення небезпечних ситуацій з допомогою візуального аналізу даних, виділимо ряд епізодів з критичним перевищенням допустимих норм, які можуть привести до порушення стійкого стану досліджуваних територій. Для ілюстрації обрано приклади моніторингу стану приземного повітря в окремих точках, де спостерігаються перевищення граничних норм в 3 – 5 разів, тобто значення відповідних ризиків теж суттєво перевищують нормативні показники [2].

**Методи аналізу.** Для аналізу та візуалізації даних екологічного моніторингу техногенних навантажень на урбанізовані території розроблено спеціалізовану інформаційно-аналітичну систему [3-7 та ін.], де особлива увага спрямована на розвиток й удосконалення засобів візуального аналізу даних моніторингу. Засоби візуального аналізу даних екологічного моніторингу базуються на побудові семантичного простору інформативних параметрів та забезпечують наочне відображення великих обсягів інформації із різних джерел з допомогою окремих проєкцій цього простору.

Для дослідження стійкості територіальних систем запропоновано спеціальні двовимірні шкали (проєкції семантичного простору), де в ролі координатних осей виступають рівні перевищень граничних норм та екологічні ризики. Більшість науковців вважає, що ризики для здоров'я – це найбільш інформативні показники екологічного стану, які комплексно враховують негативний вплив техногенних забруднень.

Динамічні процеси в природних системах мають періодичний характер, який визначається сезонною динамікою окремих його складових. Процес техногенного забруднення територіальних систем, на який впливають сезонні явища, також характеризується досить складним динамічним режимом, що включає нерегулярні коливання та цикли.

Для дослідження порушень гомеостазу територіальних систем за даними

їх моніторингу будемо використовувати аналог методу фазових координат, налаштований на відображення спостережень, накопичених за певний проміжок часу, в екологічний фазовий простір [8]. Тобто динаміку екологічного стану можна спостерігати в фазовому просторі екологічних параметрів, де в якості координатних осей фігурують найбільш інформативні показники техногенного впливу (індикатори або індекси).

Запропоновано комп'ютерні засоби моніторингу екологічного стану, що створюють можливість для спостереження за процесом забруднення з допомогою точкового образу в фазовому просторі, який відображує динаміку досліджуваної системи за визначений період часу [7]. На рис. 1 – 4 наведено окремі приклади таких спостережень, побудовані на основі аналізу даних моніторингу забруднення атмосферного повітря, опублікованих в [9].

**Результати аналізу.** На рис. 1 показано сезонний цикл коливань вмісту одного з небезпечних забруднювачів повітря – формальдегіду (за даними 2010 р., що вимірювались в Подільському районі).

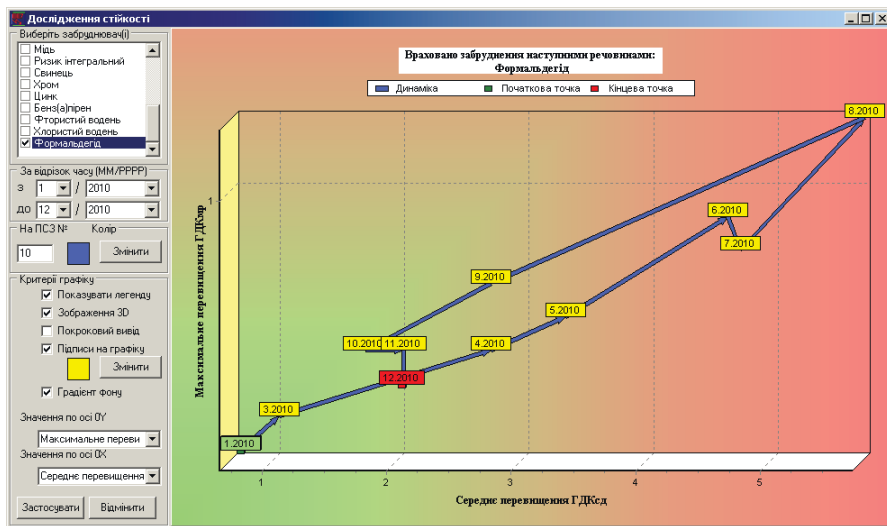


Рис. 1. Сезонний цикл коливань формальдегіду (2010 р.)

Окремі спостереження позначені прямокутниками, в яких показано місяць і рік спостереження. Середньомісячні значення поєднані між собою прямими лініями, які відображують послідовність проведення вимірювань щодо перевищень граничних норм для концентрацій забруднювачів.

Найбільш небезпечні концентрації формальдегіду спостерігалися протягом літніх місяців. На рис. 1 середньомісячні значення для літнього періоду спостережень в 4 – 5 разів перевищують граничні норми.

На рис. 2 представлено сезонні коливання формальдегіду, які

спостерігалися протягом чотирьох років (2008 – 2011 рр.) в районі Бессарабської площі. Можна побачити, що найбільш небезпечні ситуації виникли в літні місяці 2010 – 2011 рр., тобто екологічна ситуація в центрі міста протягом останніх років суттєво ускладнюється. На нашу думку, даний процес потребує більш поглибленого дослідження та прийняття відповідних рішень.

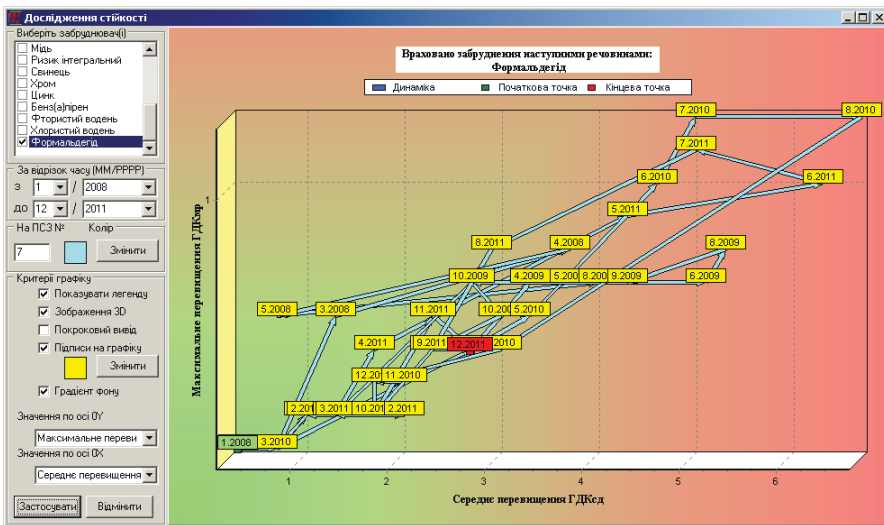


Рис. 2. Динаміка сезонних коливань формальдегіду (2008 – 2011 рр.)

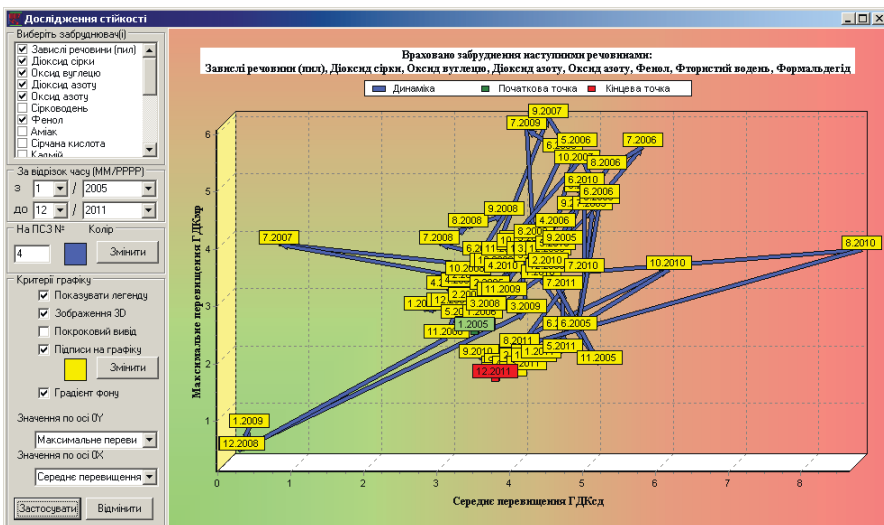


Рис. 3. Моніторинг динаміки техногенного впливу за індексом ІЗА

На рис. 3 аналогічним чином показано траєкторію сезонних коливань рівня техногенних навантажень на досліджувану територію (вул. Лазо 2, Дніпровський район), побудовану за значеннями індексу забруднення атмосфери ІЗА. Тобто цей графік враховує цілий ряд небезпечних речовин, які щомісячно вимірювались в даному районі протягом 2005 – 2011 років.

За індексом ІЗА можна відстежувати перевищення граничних норм для найбільш небезпечних речовин одночасно. Тобто кратність перевищень автоматично підсумовується для всіх відзначених у правому вікні речовин перед побудовою графіка. Сукупність точок в центрі графіка можна розглядати як візуальний образ стабільного стану. Окремі точки вгорі та справа від центру (відхилення) відображують найбільш небезпечні ситуації з критичним перевищенням норм, які загрожують гомеостазу.

На рис. 4 представлено окремий фрагмент траєкторії, яка характеризує динаміку індексу забруднення за досліджуваний період. За допомогою розроблених програмних засобів можна виділяти окремі фрагменти зображення для більш детального дослідження і порівняльного аналізу.

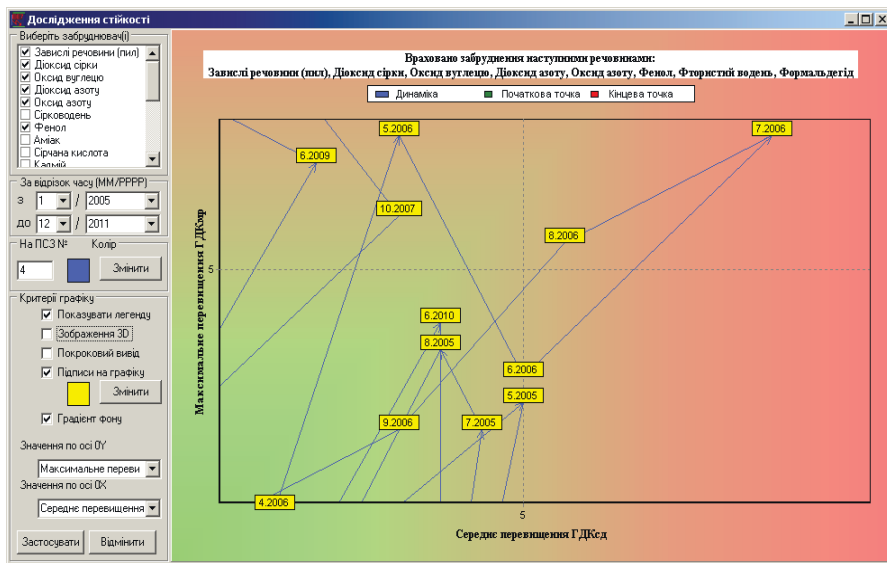


Рис. 4. Візуальне визначення максимальних значень ІЗА

Графічні образи, показані на рис. 3 і 4, в інтегрованому вигляді відображують великі обсяги даних моніторингу з урахуванням тенденцій до перевищення граничних норм. За значеннями в окремих точках графіку можна досліджувати тенденції розвитку екологічної ситуації в цілому та виділяти найбільш небезпечні періоди щодо підвищення техногенних навантажень на населення в окремих районах.

**Висновки.** Запропоновані та розроблені на попередніх етапах комп'ютерні засоби візуального аналізу екологічної інформації адаптовані до більш складних задач дослідження техногенних навантажень на урбанізовані території, зокрема, до виявлення сезонних коливань та епізодів критичного перевищення норм, що характеризують негативні тенденції, пов'язані з зростанням техногенного впливу на центр міста.

Візуальне представлення даних моніторингу та результатів аналізу з допомогою розроблених програмних засобів створює нові можливості для дослідження складних екологічних та соціальних систем. Запропоновані засоби та інформаційні технології можна впроваджувати як для дослідження актуальних задач охорони довкілля, так і для вирішення більш широких задач соціального захисту населення.

Зокрема, на основі наведених результатів можна зробити висновок щодо суттєвого погіршення екологічної ситуації в центрі міста в літній період. Отже, перебування в цих районах в літні місяці рекомендується обмежити. Особливо це стосується найбільш уразливих до якості повітря категорій населення: дітей та людей похилого віку.

1. Аналіз сталого розвитку – глобальний і регіональний контексти : У 2 ч. / Міжнародна рада з науки (ICSU) [та ін.] ; наук. кер. М. З. Згуровський. – К. : НТУУ «КПІ», 2010.
2. Методичні рекомендації "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря". Наказ МОЗ від 13.04.2007 № 184.
3. *Артемчук В.А.* Информационно-аналитическая система эколога-энергетического мониторинга / В.А. Артемчук, О.А. Грибан // Моделирование та інформаційні технології. – 2010. – Т. 1, спец. вип., С. 120-128.
4. Розробка алгоритмів аналізу даних еколога-енергетичного моніторингу потенційно небезпечних об'єктів: звіт про НДР (проміжний) / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України ; № ДР 0110U005223. – К., 2012. – 63 с.
5. Розробка інформаційної системи для задач еколога-енергетичного моніторингу техногенних навантажень та техногенних ризиків: звіт про НДР (проміжний) / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України ; № ДР 0110U005223. – К., 2013. – 50 с.
6. *Каменева І.П.* Побудова семантичних шкал для інтерпретації даних екологічного моніторингу / І.П. Каменева, В.О. Артемчук, А.В. Яцишин // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К., 2013. – № 66. – С. 18-25.
7. *Каменева І.П.* Побудова шкал для дослідження динаміки техногенних навантажень на атмосферне повітря міста / І.П. Каменева, В.О. Артемчук, А.В. Яцишин // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К., 2013. – № 67. – С. 11-17.
8. *Робертс Ф.* Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. – М.: Наука, 1986. – 496 с.
9. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області. – К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2005- 2011 рр.

*Поступила 10.02.2014р.*