

УДК 519.6:504.064

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2021.1.3>

Олександр ПОПОВ

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент НАН України, заступник директора з науково-організаційної роботи, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», просп. Академіка Палладіна, 34а, м. Київ, Україна, 03142; професор кафедри комп'ютерних інформаційних систем і технологій, Міжрегіональна Академія Управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, м. Київ, Україна, індекс 03039 (sasha.popov1982@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5065-3822>

Андрій ЯЦИШИН

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу цивільного захисту та інноваційної діяльності, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», просп. Академіка Палладіна, 34а, м. Київ, Україна, індекс 03142 (iatsyshyn.andriy@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5508-7017>

Володимир АРТЕМЧУК

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу математичного і економетричного моделювання, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, вул. Генерала Наумова, 15, м. Київ, Україна, індекс 03164 (ak24avo@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-4564>

Валентина КОВАЛЕНКО

кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник відділу технологій захисту довкілля та радіаційної безпеки, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», просп. Академіка Палладіна, 34а, м. Київ, Україна, індекс 03142 (vako88@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4681-5606>

Oleksandr POPOV

Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Senior researcher, Deputy Director for Research and Organizational Work, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", 34a Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, postal code 03142; Professor at the Department of Computer Information Systems and Technologies, Interregional Academy of Personnel Management, 2 Frometivska Str., Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (sasha.popov1982@gmail.com)

Andrii IATSYSHYN

Doctor of Technical Sciences, Senior researcher, Leading Researcher of the Department of Civil Protection and Innovation, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", 34a Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, postal code 03142 (iatsyshyn.andriy@gmail.com)

Volodymyr ARTEMCHUK

Candidate of Technical Sciences, Senior researcher, Senior researcher of the Department of Mathematical and Econometric Modeling, G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of NAS of Ukraine, 15 General Naumova Str., Kyiv, Ukraine, postal code 03164 (ak24avo@gmail.com)

Valentyna KOVALENKO

Candidate of Pedagogical Sciences, Senior researcher of the Department of environmental protection technologies and radiation safety, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", 34a Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, postal code 03142 (vako88@ukr.net)

Бібліографічний опис статті: Попов О., Яцишин А., Артемчук В., Коваленко В. Нові підходи та геоінформаційні засоби вирішення екологічних задач техногенно-навантажених територій. *Інформаційні технології та суспільство*. 2021. Вип. 1. С. 23–33. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2021.1.3>

Bibliographic description of the article: Popov, O., Iatsyshyn, A., Artemchuk, V. & Kovalenko, V. (2021). Novi pidkhody ta heoinformatsiini zasoby vyrishennia ekolohichnykh zadach tekhnogenno-navantazhenykh terytorii [New approaches and geoinformation means to solve ecological problems of technogenically loaded territories]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 1, 23–33. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2021.1.3>

НОВІ ПІДХОДИ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ЗАСОБИ ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ ТЕХНОГЕННО-НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Анотація. Для виконання зобов'язань України перед світовою спільнотою стосовно запобігання зміни клімату необхідно дотримуватися підписаних документів щодо розвитку відновлювальної енергетики, модернізації підприємств паливно-енергетичного сектору, поводження з різними відходами та ін. Тому актуальним є розробка програмного забезпечення, що дозволяє вирішувати задачі візуального аналізу динаміки екологічного стану територіальних систем та визначення меж стійкості окремих територій. Важливим є також підвищення кваліфікації фахівців, зокрема працівників міністерств, підприємств та організацій, які відповідають за прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля та підготовка майбутніх фахівців у цьому напрямі. **Метою** статті є дослідження особливостей застосування програмних засобів для задач стійкого розвитку та окреслення напрямів підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття управлінських рішень в енергетичній, екологічній та суміжних галузях. **Наукова новизна.** Авторами обґрунтовано структурний підхід до оцінювання екологічного стану техногенно-навантажених територій та запропоновано нові форми представлення даних моніторингу техногенних навантажень та ризиків, що відображують динаміку екологічної ситуації в просторі інформативних ознак. Як **висновок**, у статті наголошується, що важливим є впровадження програмних засобів для підтримки прийняття управлінських рішень у процес підвищення кваліфікації фахівців в енергетичній, екологічній та суміжних галузях. Це відповідає сучасним світовим вимогам до підготовки фахівців нової технологічної ери та сприятиме реалізації концепції сталого розвитку суспільства. Опанувавши такі програмні засоби фахівці зможуть: визначати та ідентифікувати раніше невідомі взаємозв'язки між екологічними параметрами і факторами впливу; визначати й прогнозувати приховані тенденції і закономірності розвитку екологічних процесів (виявляти та розпізнавати приховані чинники впливу, в тому числі, фактори загрози; систематизувати та інтегрувати дані про стан навколишнього природного середовища; розробляти оптимізаційні рекомендації в енергетичній, екологічній та суміжних галузях; візуалізувати результати аналізу, здійснювати підготовку попередніх звітів і проектів допустимих рішень та ін.

Ключові слова: стійкий розвиток, атмосферне повітря, геоінформаційні системи, екологічні ризики, підготовка фахівців.

NEW APPROACHES AND GEOINFORMATION MEANS TO SOLVE ECOLOGICAL PROBLEMS OF TECHNOGENICALLY LOADED TERRITORIES

Abstract. In order to fulfill Ukraine's commitments to the world community on climate change prevention, it is necessary to adhere to the signed documents on the development of renewable energy, modernization of enterprises in the fuel and energy sector, various waste management strategies etc. Therefore, it is important to develop software that allows solving problems of visual analysis of the dynamics of the ecological condition of territorial systems and determining the limits of stability of individual territories. It is also important to improve the skills of specialists, in particular employees of ministries, enterprises and organizations responsible for making decisions to reduce the negative impact on the environment and training future professionals in this area. **The aim** of the article is to study the peculiarities of the use of software for sustainable development and to outline areas for professional development of specialists responsible for decision making process in energy, environmental and related fields. **Scientific novelty.** The authors substantiate the structural approach to assessing the ecological condition of technogenic areas and propose new forms of presentation of monitoring data on technogenic loads and risks, reflecting the dynamics of the ecological situation in the time of informative features. **In conclusion**, the article emphasizes that it is important to implement software tools to support management decisions in the process of professional development in energy, environmental and related fields. This meets modern world requirements for the training of specialists of the new technological era and will contribute to the implementation of the concept of society sustainable development. Having mastered such software, specialists will be able to: identify previously unknown relationships between environmental parameters and impact factors; identify and predict hidden trends and patterns of environmental processes (including threat factors); systematize and integrate data on the state of the environment; develop optimization recommendations in energy, environmental and related fields; visualize the results of analysis, and to prepare preliminary reports and drafts of management decisions etc.

Key words: sustainable development, atmospheric air, geographic information systems, ecological risks, training.

Актуальність проблеми. У доповіді [1] передбачено визначення сталого розвитку як «розвитку, який відповідає потребам сучасності без шкоди для майбутніх поколінь для задоволення власних потреб». З екологічної точки зору стійкий розвиток має забезпечити цілісність і життєздатність природних систем, можливості самовідновлення та адаптації до змін. Зокрема, дослідження взаємозв'язків між природоохоронною та економічною складовими процесів стійкого розвитку потребує уточнення

граничних рівнів техногенних навантажень на довкілля та визначення меж стійкості урбанізованих територіальних систем до техногенного впливу.

На даному етапі підходи до дослідження стійкого розвитку можна розділити на два напрями. Перший напрям домінує на глобальному та регіональному рівні (погляд «згори», тобто порівняльний аналіз ситуації в різних країнах або регіонах). Це дослідження, що спрямовані на обчислення індикаторів та індексів сталого розвитку за методиками, запропонованими Комісією ООН та міжнародними радами [2; 3]. До другого напрямку слід віднести роботи, спрямовані на дослідження стійкості окремих процесів, що відбуваються в конкретних екологічних або соціальних системах [4, с. 119–132; 5, с. 2554–2560]. Адже лише на конкретних прикладах аналізу динаміки окремих систем можна виявити залежність траєкторії розвитку (або переходу до критичного стану) даної системи від значень тих або інших параметрів.

Для практичної реалізації принципів сталого розвитку в Україні особливої уваги потребує розвиток та модернізація системи моніторингу екологічного стану територіальних систем різного рівня, створення універсального інформаційно-програмного забезпечення задач моніторингу, удосконалення засобів прогнозування критичних ситуацій та прийняття управлінських рішень. Серед найбільш пріоритетних задач – розробка сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій, орієнтованих на збереження, накопичення, систематизацію та інтеграцію інформації, одержаної з різних джерел, включаючи локальний рівень аналізу даних та можливості візуальної інтерпретації на основі ГІС-технологій. Про це свідчить прийнята концепція [6], реалізація якої має забезпечити дотримання міжнародних зобов'язань України у сфері охорони навколишнього природного середовища, зокрема раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів.

Тому, важливими для дослідження вважаємо два аспекти: удосконалення системи моніторингу для задач прогнозування та управління екологічною безпекою на основі інформаційних технологій; підвищення кваліфікації фахівців в енергетичній, екологічній та суміжних галузях, які відповідають за прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільше публікацій присвячених проблематиці сталого розвитку мають наступні вчені: М. Згуровський, Р. Priyadarshini, Н. Fredrickson, L. Zhao, S. González-García, J. Baleta, М.-Н. Yuan, S.-L. Lo, A. Dawodu, A. Cheshmehzangi та інші.

На основі аналізу праць зарубіжних і вітчизняних вчених було зроблено систематизацію наукових публікацій за такими напрямками, що безпосередньо стосуються даного дослідження:

- підходи до забезпечення сталого розвитку [4, с. 119–1325, с. 2554–2560; 7, с. 1083–1095; 8, с. 27–42; 9, с. 1424–1436; 10];
- розробка показників, індикаторів, індексів для вимірювання сталого розвитку [2; 11; 12];
- побудова математичних, програмних та апаратних засобів для оцінювання впливу потенційно небезпечних підприємств на довкілля з врахуванням економічних показників [13; 14; 15, с. 98–114; 16, с. 13–24];
- підвищення кваліфікації фахівців в галузі екологічної безпеки та суміжних галузях [17; 18, с. 1349–1360].

Проте, подальшого дослідження потребують питання щодо комплексних і прогнозних оцінок екологічної ситуації техногенно-навантажених територій в контексті сталого розвитку та підвищення кваліфікації фахівців, що працюють в енергетичній, екологічній та суміжних галузях.

Метою статті є дослідження особливостей застосування програмних засобів для задач стійкого розвитку та окреслення напрямів підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття управлінських рішень в енергетичній, екологічній та суміжних галузях.

Результати дослідження.

Енергетика: від екологічної безпеки до сталого розвитку

Одним з критеріїв оцінювання екологічної безпеки певної екосистеми є якість життя і здоров'я населення, тому виникає необхідність цілеспрямованого впливу (управління) екологічною системою з ціллю забезпечення підвищення її організованості та досягнення певного корисного ефекту.

В дослідженні [7, с. 1083–1095] запропоновано моделі сталого розвитку для вимірювання ефективності системи, що складається з економічної, екологічної та соціальної підсистеми. Результат дослідження проілюстровано для 30 великих китайських міст та показано основні чинники, які впливають на їх економічну, екологічну та соціальну ефективність.

Щоб зберегти ресурси та гарантувати соціальні послуги та добробут громадян, необхідні здійснювати заходи щодо планування та політики, які сприяють досягненню сталого зростання. Крім екологічної перспективи, соціально-економічний аналіз має важливе значення для встановлення всебічної діагностики стійкості міських та сільських систем. У [8, с. 27–42] представлена методологія оцінки

стійкості, що базується на 38 показниках, які включають три основи стійкості: соціальну, економічну та екологічну. Дана методологія була апробована в багатьох муніципалітетах північно-західної Іспанії. Результати дослідження показали, що найбільш стійкі муніципалітети розташовані на півночі регіону, а розмір муніципалітетів є важливим для вимірювання стійкості. Автори публікації зазначають, що розроблена методологія є надійною і може застосовуватися до інших муніципалітетів та міст.

Для вирішення проблеми глобального потепління необхідно застосовувати спільні зусилля та між-дисциплінарний підхід. Разом з ефективністю використання ресурсів, економіка замкнутого циклу стає в центрі уваги дослідників і, отже, політиків. Сталий розвиток є багатопрофільною темою, а взаємодія систем енергії, води та навколишнього природного середовища відіграє одну з центральних ролей. У парадигмі економіки замкнутого циклу зростає потреба в системній інтеграції, коли побічний продукт однієї системи може представляти ресурс для іншої. В роботі [9, с. 1424–1436] висвітлено питання щодо сталого розвитку систем енергетики, води та довкілля, та наголошено, що все більше зусиль потрібно прикладати для подальшої інтеграції цих систем. Це все призводить до підвищення складності такої проблеми, вирішення якої можливе тільки завдяки взаємодії багатьох науковців з різних галузей дослідження.

Інтеграція систем енергетики, води та навколишнього середовища є важливою в багатодисциплінарній концепції сталого розвитку, оскільки вони представляють основні життєві потреби людства. Тому проблеми, що виникають із концепції стійкого розвитку, потрібно ретельно вирішувати, щоб зберегти енергію, воду та ресурси довкілля для майбутніх поколінь. У роботі [10] розглядаються деякі останні події у цих основних сферах в рамках сталого розвитку.

Постановка задач моніторингу стійкого розвитку територій

Як відомо, екологічний моніторинг включає систему спостережень за чинниками, які впливають на навколишнє природне середовище, процес оцінювання фактичного стану природного середовища, прогнозні оцінки та певні можливості контролю й управління. Екологічні індикатори будемо розглядати як окремі показники, що мають істотний вплив на стан досліджуваних територій, а екологічні індекси – як комплексні показники, побудовані із врахуванням декількох індикаторів.

Для визначення індикаторів екологічного стану (інтегральних індексів) на основі даних моніторингу урбанізованих територій в роботі [14] обґрунтовано структурний підхід до оцінювання стану окремих територій, що розроблений для задач аналізу наслідків техногенного впливу. Для визначення індикаторів екологічного стану урбанізованих територій запропоновано три типи екологічних показників:

- 1) найбільш інформативні серед показників, зафіксованих в результаті вимірювання на постах спостереження за станом довкілля (концентрації найбільш небезпечних речовин);
- 2) багатовимірні індекси екологічного стану досліджуваних територій, побудовані за сукупністю вимірних показників;
- 3) оцінки екологічного ризику (імовірнісні розподіли, або поля ризику), розраховані на основі даних моніторингу.

На основі даних екологічного моніторингу досліджуваних територій визначаються узагальнені оцінки (індикатори) екологічного стану цих територій, за значеннями яких можна виявляти та передбачати критичні ситуації, досліджувати критичні чинники та найбільш чутливі до негативних факторів елементи природного середовища, тобто окремі території, водні екосистеми або групи ризику, які знаходяться в умовах підвищених техногенних навантажень.

До типових задач стійкого розвитку, які потребують застосування засобів та технологій просторового аналізу, можна віднести планування територій, будівництва та розміщення об'єктів виробничої інфраструктури, управління земельними й природними ресурсами, керування транспортними засобами, розвиток сільського господарства, моделювання наслідків аварій або надзвичайних ситуацій тощо.

Серед основних задач моніторингу, аналізу та оцінювання стійкого розвитку регіонів та окремих територій відзначимо виявлення просторової структури досліджуваних систем (розподіл техногенних навантажень, розподіл ризиків та захворювань, виявлення небезпечних зон); аналіз певних змін та визначення основних тенденцій за досліджуваній період (моніторинг динаміки техногенних навантажень); прогнозування можливих сценаріїв розвитку типових ситуацій (зокрема, оцінювання потенційного впливу небезпечних факторів та ефективності управлінських рішень).

Одна з пріоритетних задач оцінювання та моделювання процесів стійкого розвитку на територіальному рівні – це визначення меж стійкості досліджуваних територіальних систем, що перебувають під тиском досить високих техногенних навантажень.

В концепції стійкого розвитку природні межі стійкості визначають такий стан біосфери й суспільства, який дозволить зберегти нашу цивілізацію та основні природні ресурси для майбутніх поколінь.

Отже, необхідно визначити такі гранично допустимі рівні навантажень на окремі територіальні системи, для яких ще можна забезпечити стабільний стан.

Для уточнення поняття про стійкість динамічних систем нагадаємо визначення стійкості за Ляпуновим. Траєкторія динамічної системи може вважатись стійкою, якщо для скільки завгодно малих відхилень, що визначають межі стійкості цієї системи, можна вказати такі обмеження для можливих коливань, при яких система не вийде за визначені межі [19].

Наведемо основні етапи дослідження територіальних систем з метою визначення меж стійкості до впливу техногенних навантажень.

1. Просторовий аналіз даних моніторингу техногенного забруднення та виявлення зон підвищеного ризику. На попередніх етапах аналізу даних моніторингу необхідно визначити інформативні параметри (або екологічні індекси), які використовуються для ранжирування територій та побудови екологічних шкал.

2. Візуалізація результатів просторового аналізу у вигляді двовимірних семантичних шкал, тобто інформативних проєкцій семантичного простору ризиків, які забезпечують оцінювання та ранжирування досліджених територій за індексами екологічного стану.

3. Візуальний аналіз динаміки техногенних навантажень за певний період часу в зонах підвищеного ризику (точках максимальної напруги) за допомогою шкал стійкості та візуальне визначення меж стійкості.

Засоби аналізу та результати

Для дослідження просторово-розподілених задач аналізу техногенного впливу на територіальні системи, авторами даної публікації розроблено аналітико-інформаційну систему моніторингу техногенних навантажень на довкілля, де передбачено можливості аналізу складних процесів та явищ, які відображують дані моніторингу окремих міст, регіонів або територіальних систем. Дане програмне забезпечення складається з декількох блоків, а саме: блок статистичного аналізу й попередньої оцінки техногенних навантажень на атмосферне повітря; блок математичного моделювання та прогнозування рівнів забруднення атмосфери і ризиків для населення; блок візуалізації та побудови екологічних карт [13].

Дана система може бути використана як допоміжний інструмент для інформаційної підтримки задач екологічного моніторингу, моніторингу забруднення від потенційно-небезпечних об'єктів, управління екологічною безпекою в умовах техногенного забруднення приземного шару атмосфери, що необхідні для підтримки прийняття рішень з питань забезпечення цивільного захисту населення і територій, що зазнають підсилені техногенні навантаження. Розроблені програмні засоби можуть оперативно забезпечувати місцеві органи управління та інші зацікавлені структури цінною інформацією, необхідною для прийняття найбільш ефективних рішень з урахуванням місцевих особливостей.

На рис. 1 показано структурну схему програмного забезпечення для управління екологічною безпекою урбанізованих територій, яка включає засоби моделювання та прогнозування техногенних навантажень на довкілля (зокрема, на атмосферне повітря) від стаціонарних джерел забруднення.



Рис. 1. Програмне забезпечення задач управління безпекою

Методичний аналіз процесів стійкого розвитку потребує визначення критеріїв стійкості досліджуваних територіальних систем, які необхідно знати для розрахунку обмежень на техногенні навантаження.

На локальному рівні задачу визначення таких критеріїв можна розглядати як обернену до задачі моніторингу техногенних навантажень, тобто задачу уточнення тих меж, порушення яких може привести до катастрофічних змін в досліджуваних системах.

Серед методичних засобів, спрямованих на визначення меж стійкості урбанізованих територій, особливої уваги потребує розвиток засобів візуального аналізу даних моніторингу та технологій побудови екологічних шкал, які забезпечують наочне відображення динаміки змін екологічного стану територіальної системи за досліджуваній період.

Далі розглянемо окремі можливості візуалізації досліджуваних процесів у графічному вигляді, реалізовані на основі комп'ютерних засобів візуального спостереження за процесом наближення до граничних умов із врахуванням даних моніторингу та нормативних даних щодо обмежень на гранично допустимі концентрації та ризики.

Запропоновані засоби аналізу динаміки змін екологічного стану та визначення меж стійкості урбанізованих територій до техногенного впливу апробовано на прикладі територіальної системи міста Києва. Дослідження проводилось з використанням даних моніторингу стану атмосферного повітря міста, одержаних від Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського за період з 2005 до 2018 рр. [20].

На попередніх етапах аналізу для моніторингу динаміки техногенних навантажень на місто було визначено найбільш інформативні показники забруднення, які мають високий клас небезпеки, великий діапазон сезонних коливань та суттєво перевищують граничні норми, визначені діючим законодавством. Особливості динаміки техногенного впливу на приземний шар повітря досліджувались на прикладах таких небезпечних речовин – забруднювачів як формальдегід, діоксид азоту та оксид вуглецю.

На основі даних моніторингу було визначено значення ризиків для населення різних районів міста Києва. Значення ризиків хронічної інтоксикації (PXI) та ризиків миттєвих токсичних ефектів (PMTE) розраховувались за формулами, що описані в роботі [21]. За цими даними можна відстежувати динаміку ризиків для здоров'я в окремих точках міста. Оцінки ризиків для населення за досліджуваній період наведені в табл. 1. На рис. 2 наведені приклади карт ризиків внаслідок забруднення повітря в м. Києві за січень – грудень 2017 р.

Згідно з наведеними даними, найбільші значення техногенних навантажень та ризиків за досліджуваній період спостерігались для району Бесарабської площі, який відзначено як зону підвищеного ризику (пункт спостережень № 7). Також підвищені значення ризиків протягом всього періоду спостережень було відзначено на пунктах спостереження за забрудненням атмосферного повітря (ПСЗ) інших центральних районів міста (на Майдані Незалежності, Площі Перемоги тощо).

Для моніторингу сезонної динаміки техногенних навантажень на окремі території та визначення найбільш небезпечних ситуацій розроблено спеціалізовані візуальні засоби відображення даних моніторингу щодо перевищень норм гранично допустимих концентрацій та відповідних значень ризиків.

Порівнюючи одержані авторами результати, можна сформулювати певну послідовність дослідження побудованих графічних образів та визначення найбільш небезпечних відхилень від стабільного стану.

Таблиця 1

Динаміка значень ризиків для здоров'я населення м. Києва

Місце	Рік	2005 р.		2008 р.		2011 р.		2017 р.	
		PXI	PMTE	PXI	PMTE	PXI	PMTE	PXI	PMTE
Гідропарк		0,085	0,137	0,063	0,140	0,068	0,025	0,077	0,026
Національний комплекс «Експоцентр Україна»		0,061	0,051	0,053	0,120	0,071	0,032	0,087	0,067
Деміївська площа		0,192	0,406	0,060	0,089	0,144	0,157	0,178	0,160
Площа Перемоги		0,170	0,458	0,136	0,298	0,210	0,306	0,219	0,226
Бессарабська площа		0,193	0,693	0,275	0,472	0,255	0,321	0,296	0,211
Майдан Незалежності		0,173	0,514	0,202	0,390	0,212	0,264	0,241	0,202
Дарницька площа		0,163	0,386	0,151	0,358	0,174	0,215	0,182	0,187

На першому етапі необхідно окреслити образ нормального стану, розташований ближче до початку координат, де перевищення граничних норм не досягає критичних значень. Потім можна виділити максимальні відхилення від норми, спрямовані в протилежному напрямку.



а)



б)

Рис. 2. Карта розподілу інтегральних ризиків РМТЕ (а) та РХІ (б) внаслідок забруднення повітря м. Києва за 2017 рік [13]

На рис. 3 відображено динаміку індексу забруднення атмосфери за період спостережень з 2015 по 2018 рр. на ПСЗ № 7 (район Бесарабської площі). Одержаний графік можна вважати найбільш змістовним відображенням результатів спостережень, що враховує дані по основним забруднювачам повітря за останні роки.

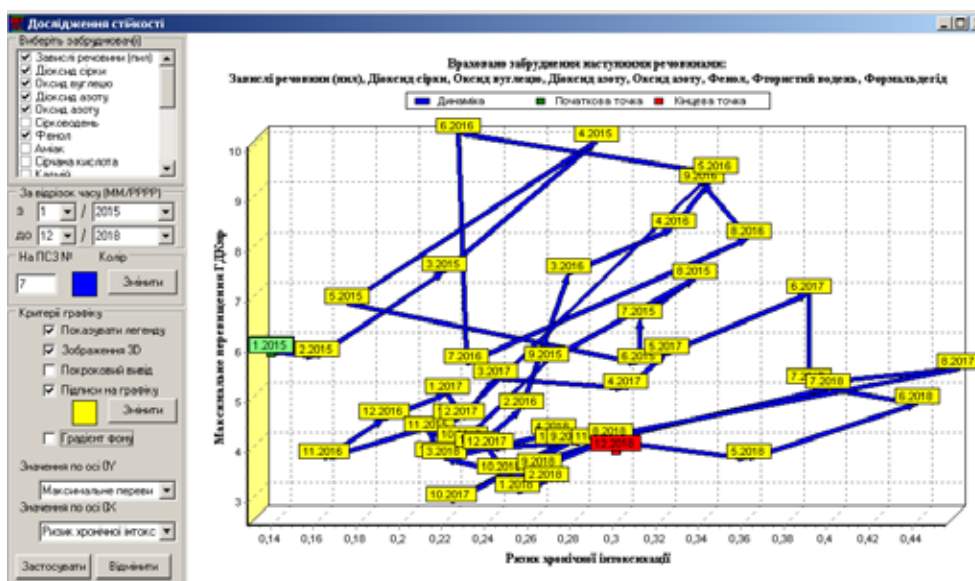


Рис. 3. Динаміка індексу забруднення атмосфери на ПСЗ № 7 (2015–2018) [14]

Значення, що відповідають нормі, сконцентрувалися ближче до координатних осей, нижче п'ятикратного перевищення максимальних значень. Найбільш небезпечні ситуації утворюють зовнішній контур відносно інших значень, який починається з точки вгорі (6.2016) й обмежується максимальними ризиками, показаними в правій частині графіка.

Окремі спостереження (середньомісячні дані про забруднення) позначені прямокутниками, в яких показано місяць і рік спостереження. На графіку середньомісячні значення поєднані між собою у тій послідовності, в якій відбувалось проведення вимірювань.

За допомогою запропонованих програмних засобів моніторингу техногенних навантажень на окремій території можна візуально визначати найбільш небезпечні ситуації (або періоди максимального відхилення від норми), коли з високою імовірністю виникають локальні порушення стабільного стану, які характеризується суттєвим підвищенням захворюваності населення прилеглих територій.

Таким чином, для аналізу процесів сталого розвитку на локальному та регіональному рівнях, згідно з рекомендаціями, наданими в [3], індекси екологічного стану урбанізованих територій було розраховано на основі даних моніторингу м. Києва. Наразі модулі розробленого програмного забезпечення впроваджено в Департаменті організації заходів цивільного захисту ДСНС України, відокремленому підрозділі «Науково-технічний центр» державного підприємства «НАЕК «Енергоатом» (ДП «НАЕК «Енергоатом»), отримано рекомендації щодо застосування розроблених програмних засобів в роботі територіальних та міжрегіональних територіальних органах Державної екологічної інспекції України тощо.

Розроблені програмні засоби можуть забезпечити населення інформацією про стан навколишнього середовища, існуючі екологічні ризики/загрози для безпечної життєдіяльності, які представлені в електронному вигляді, що особливо важливо при створенні загальнодержавної автоматизованої інформаційно-аналітичної системи «Відкрите довкілля».

Отже, для визначення меж стійкості урбанізованих територій необхідно співвіднести оцінки, одержані в результаті аналізу реальних даних моніторингу та моделювання техногенних навантажень на окремі райони, з тими граничними умовами, які відповідають критеріям стійкості, затвердженим міжнародними та державними законодавчими актами.

Напрями застосування програмних засобів для підвищення кваліфікації фахівців в енергетичній, екологічній та суміжних галузях

Здійснивши аналіз пропозиції закладів вищої освіти України (Національний університет біоресурсів і природокористування України, Одеський державний екологічний університет, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління та ін.) станом на 2019 р., визначено, що ці заклади пропонують навчання за програмами додаткової професійної освіти коротко- та довгострокових курсів підвищення кваліфікації, в очній (з відривом від виробництва) і очно-заочній формах. Програми підвищення кваліфікації розроблені в галузі наук про Землю (спеціалізації метеорологія, агрометеорологія, гідрологія), екології та ін. Пропонуються курси підвищення кваліфікації за різними напряма-

ми і темами: оцінка стану та техногенного впливу автотранспортного комплексу на навколишнє середовище, охорона атмосферного повітря, проектування та експлуатація сучасних систем моніторингу навколишнього природного середовища, підвищення кваліфікації громадських інспекторів з охорони довкілля, основи геоінформаційних систем і технологій (практичний курс для користувачів) та інше. Запропоновані курси підвищення кваліфікації спрямовані на вдосконалення професійної діяльності фахівців для роботи на посадах керівників та провідних виконавців з менеджменту, екології та природокористування. Також для підвищення кваліфікації персоналу в енергетичній галузі України, науковим підприємством «Інфотек» було розроблено інноваційне віртуальне середовище (що складається з повнофункціонального режимного веб-тренажера та дистанційного навчального курсу) для навчання та тренажу персоналу об'єднаної енергетичної системи України під час очно-дистанційної форми навчання.

Вважаємо, що важливим є впровадження програмних засобів для підтримки прийняття управлінських рішень у процес підвищення кваліфікації фахівців в енергетичній, екологічній та суміжних галузях. Це відповідає сучасним світовим вимогам до підготовки фахівців нової технологічної ери та сприятиме реалізації концепції сталого розвитку суспільства. Опанувавши такі програмні засоби фахівці зможуть: визначати та ідентифікувати раніше невідомі взаємозв'язки між екологічними параметрами і факторами впливу; визначати й прогнозувати приховані тенденції і закономірності розвитку екологічних процесів (виявляти та розпізнавати приховані чинники впливу, в тому числі, фактори загрози; систематизувати та інтегрувати дані про стан навколишнього природного середовища; розробляти оптимізаційні рекомендації в енергетичній, екологічній та суміжних галузях; візуалізувати результати аналізу, здійснювати підготовку попередніх звітів і проектів допустимих рішень та ін.

У 2019 р. авторами статті було розроблено алгоритми та математичні та програмні засоби перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що є важливою складовою для оцінювання сталого розвитку екологічних систем. Також, автори даної статті надають консультативну допомогу та науковий супровід організаціям і установам щодо підвищення кваліфікації фахівців в енергетичній, екологічній та суміжних галузях, зокрема в аспекті застосування програмних засобів підтримки прийняття управлінських рішень.

Висновки. Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє вирішувати задачі візуального аналізу динаміки екологічного стану територіальних систем та визначення меж стійкості окремих територій. Для аналізу динаміки техногенного впливу та визначення меж стійкості територіальних систем запропоновано нові форми представлення даних моніторингу техногенних навантажень та ризиків, що відображують динаміку екологічної ситуації в просторі інформативних ознак.

Також, важливим є підвищення кваліфікації фахівців, зокрема працівників міністерств, підприємств та організацій, які відповідають за прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля та підготовка майбутніх фахівців у цьому напрямі. У 2019 р. тільки кілька закладів вищої освіти пропонували курси підвищення кваліфікації для фахівців, що працюють на посадах керівників та провідних виконавців з менеджменту, екології та природокористування, проте, у навчальних програмах, недостатньо уваги приділено саме навчанню застосовувати програмні засоби підтримки прийняття управлінських рішень. Основними напрямками підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття управлінських рішень є: проведення семінарів-тренінгів на базі міністерств, установ і відомств, що зацікавлені у впровадженні розроблених систем; науково-методична підтримка та консультативна допомога для процесу впровадження розроблених програмних засобів; розробка та вдосконалення навчально-методичного забезпечення для аспірантів, студентів та слухачів курсів підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття управлінських рішень в енергетичній, екологічній та суміжних галузях.

Список використаних джерел:

1. Brundtland G.H., Khalid M., Agnelli S., Al-Athel S., Chidzero B. Our common future. New York, 1987.
2. Згуровський М.З. Аналіз сталого розвитку: глобальний і регіональний контексти : монографія. К. : НТУУ «КПІ», 2012. 312 с.
3. Report On Aggregation Indicators for Sustainable Development. New York : UN Division on Sustainable Development, 2001.
4. Yıldız-Geyhan E., Yılan G., Altun-Çiftçioğlu G.A., Kadırgan M.A.N. Environmental and social life cycle sustainability assessment of different packaging waste collection systems. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. Vol. 143. P. 119-132.
5. Niemanee T., Kaveeta R., Potchanasin C. Assessing the Economic, Social, and Environmental Condition for the Sustainable Agricultural System Planning in Ban Phaeo District, Samut Sakhonn Province, Thailand. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 197. P. 2554-2560.

6. Про схвалення Концепції створення загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». Розпорядження Кабінету Міністрів України. Концепція від 07.11.2018 № 825-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/825-2018-%D1%80>.
7. Zhao L., Zha Y., Zhuang Y., Liang L. Data envelopment analysis for sustainability evaluation in China: Tackling the economic, environmental, and social dimensions. *European Journal of Operational Research*. 2019. Vol. 275(3). P. 1083–1095.
8. González-García S., Rama M., Cortés A., et al. Embedding environmental, economic and social indicators in the evaluation of the sustainability of the municipalities of Galicia (northwest of Spain). *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 234. P. 27–42.
9. Baleta J., Mikulčić H., Klemeš J.J., Urbaniec K., Duić N. Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 215. P. 1424–1436.
10. Mikulčić H., Wang X., Duić N., Dewil R. Environmental problems arising from the sustainable development of energy, water and environment system. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 259. 109666.
11. Reid J., Rout M. Developing sustainability indicators – The need for radical transparency. *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 110. 105941.
12. Chowdhury T., Chowdhury H., Chowdhury P., Sait S.M., Paul A., Ahamed J. Uddin, Saidur R. A case study to application of exergy-based indicators to address the sustainability of Bangladesh residential sector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2020. Vol. 37. 100615.
13. Popov O.O., Iatsyshyn A.V., Kovach V.O. et al. Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health and Pollution*. 2020. Vol. 10(25). 200303.
14. Iatsyshyn A.V., Iatsyshyn Anna V., Artemchuk V.O. et al. Software tools for tasks of sustainable development of environmental problems: peculiarities of programming and implementation in the specialists' preparation. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 01001.
15. Suo C., Li Y.P., Sun J., Yin S. An air quality index-based multistage type-2-fuzzy interval-stochastic programming model for energy and environmental systems management under multiple uncertainties. *Environ. Res.* 2018. Vol. 167. P. 98–114.
16. Rönkkö M., Heikkinen J., Kotovirta V., Chandrasekar V. Automated preprocessing of environmental data. *Future Generation Computer Systems*. 2015. Vol. 45. P. 13–24.
17. Vergara A., Rubio M.P., Lorenzo M. On the Design of Virtual Reality Learning Environments in Engineering. *Multimodal Technologies and Interactions*. 2017. Vol. 1. 11 p.
18. Grodotzki J., Ortelt T.R., Tekkaya A.E. Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 26. P. 1349–1360.
19. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. Москва : Изд. «Наука», 1967. 472 с.
20. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області. К. : Центральної геофізичної обсерваторія імені Бориса Срезневського, 2005–2018 рр.
21. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов. М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. 118 с.

References:

1. Brundtland, G.H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel S., Chidzero, B. (1987). Our common future. New York.
2. Zghurovs'kyj, M.Z. (2012). *Analiz staloho rozvytku: hlobal'nyj i rehional'nyj konteksty. [Analysis of Sustainable Development: Global and Regional Contexts]*. Kyiv: NTUU "KPI" [in Ukrainian].
3. Report On Aggregation Indicators for Sustainable Development (2001). New York: UN Division on Sustainable Development.
4. Yildiz-Geyhan, E., Yilan, G., Altun-Çiftçioglu, G.A., Kadırgan, M.A.N. (2019). Environmental and social life cycle sustainability assessment of different packaging waste collection systems. *Resources, Conservation and Recycling*. 143, 119–132.
5. Niemmanee, T., Kaveeta, R., Potchanasin, C. (2015). Assessing the Economic, Social, and Environmental Condition for the Sustainable Agricultural System Planning in Ban Phaeo District, Samut Sakhonn Province, Thailand. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 197, 2554–2560.
6. Про схвалення Концепції створення загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». Розпорядження Кабінету Міністрів України. [About the approval of the Concept of creation of the national automated system «Open environment». Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Conception on 7.11.2018 № 825-p.] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/825-2018-%D1%80>.
7. Zhao, L., Zha, Y., Zhuang, Y., Liang, L. (2019). Data envelopment analysis for sustainability evaluation in China: Tackling the economic, environmental, and social dimensions. *European Journal of Operational Research*. 275(3), 1083–1095.
8. González-García, S., Rama, M., Cortés, A. et al. (2019). Embedding environmental, economic and social indicators in the evaluation of the sustainability of the municipalities of Galicia (northwest of Spain). *Journal of Cleaner Production*. 234, 27–42.
9. Baleta, J., Mikulčić, H., Klemeš, J.J., Urbaniec, K., Duić, N. (2019). Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. *Journal of Cleaner Production*. 215, 1424–1436.
10. Mikulčić, H., Wang, X., Duić, N., Dewil, R. (2020). Environmental problems arising from the sustainable development of energy, water and environment system. *Journal of Environmental Management*. 259, 109666.
11. Reid, J., Rout, M. (2020). Developing sustainability indicators – The need for radical transparency. *Ecological Indicators*. 110, 105941.

12. Chowdhury, T., Chowdhury, H., Chowdhury, P., Sait, S.M., Paul, A., Ahamed, J. Uddin, Saidur, R. (2020). A case study to application of exergy-based indicators to address the sustainability of Bangladesh residential sector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 37, 100615.
13. Popov, O.O., Iatsyshyn, A.V., Kovach, V.O. et al. (2020). Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health and Pollution*. 10(25), 200303.
14. Iatsyshyn, A.V., Iatsyshyn, Anna V., Artemchuk, V.O. et al. (2020). Software tools for tasks of sustainable development of environmental problems: peculiarities of programming and implementation in the specialists' preparation. *E3S Web of Conferences*. 166, 01001.
15. Suo, C., Li, Y.P., Sun, J., Yin, S. (2018). An air quality index-based multistage type-2-fuzzy interval-stochastic programming model for energy and environmental systems management under multiple uncertainties. *Environ. Res.* 167, 98–114.
16. Rönkkö, M., Heikkinen, J., Kotovirta, V., Chandrasekar, V. (2015). Automated preprocessing of environmental data. *Future Generation Computer Systems*. 45, 13–24.
17. Vergara, A., Rubio, M.P., Lorenzo, M. (2017). On the Design of Virtual Reality Learning Environments in Engineering. *Multimodal Technologies and Interactions*. 1, 11.
18. Grodotzki, J., Ortelt, T.R., Tekkaya, A.E. (2018). Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0. *Procedia Manufacturing*. 26. 1349–1360.
19. Demidovich, B.P. (1967). *Lektsii po matematicheskoy teorii ustoychivosti. [Lectures on the Mathematical Stability Theory]*. Moscow : Nauka [in Russian].
20. *Shchomisyachnyy byuleten' zabrudnennya atmosfernoho povitrya v Kyevi ta mistakh Kyivs'koyi oblasti. [Monthly Bulletin of air pollution in the cities of Kyiv and Kyiv region]*. Kyiv : Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, (2005–2018) [in Ukrainian].
21. Alyimov, V.T., Tarasova, N.P. (2004). *Tekhnogennyy risk: Analiz i otsenka: Uchebnoye posobiye dlya vuzov. [Technogenic risk: Analysis and evaluation: A manual for higher education institutions]*. Moscow : IKTs "Akademkniga" [in Russian].