
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ

doi:<https://doi.org/10.15407/emodel.41.05.085>

УДК 519.6:504.064

А.В. Яцишин¹, д-р техн. наук, **Ю.Г. Куцан**¹, д-р техн. наук,
В.О. Артемчук¹, канд. техн. наук, **І.П. Каменева**¹, канд. техн. наук,
О.О. Попов¹, д-р техн. наук, **В.О. Ковач**², канд. техн. наук

¹ Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України
(Україна, 03164, Київ, вул. Генерала Наумова 15,
тел. (044) 4249168; e-mail: ak24avo@gmail.com),

² Національний авіаційний університет
(Україна, 03058, Київ, пр-т Космонавта Комарова, 1)

Засоби інтелектуального аналізу та візуалізації геопросторових даних моніторингу стану атмосферного повітря*

Проаналізовано основні задачі моніторингу стану атмосферного повітря (САП) та вимоги до удосконалення мережі спостережень за станом довкілля для забезпечення зменшення негативних впливів на урбанізовані території та населення промислових міст України. Наведено сучасні інструменти та засоби аналізу великих обсягів структурованих та неструктурованих геопросторових даних, зокрема методи обробки Big Data та методи інтелектуального аналізу геопросторових даних. Здійснено адаптацію окремих засобів для задач моніторингу САП. Надано приклади інтелектуального аналізу та візуалізації геопросторових даних, що відображають рівні техногенних навантажень на атмосферне повітря.

К л ю ч о в і с л о в а: екологічна безпека, мережа моніторингу, інтелектуальний аналіз, візуалізація даних, атмосферне повітря.

Сучасний стан екологічної безпеки в Україні, на жаль, не відповідає європейським стандартам. В першу чергу, це занадто високі рівні забруднення атмосферного повітря в промислових районах, де найбільш значну масу викидів від стаціонарних джерел забезпечують підприємства енергетики та металургії. Загальний рівень техногенних навантажень на довкілля в промислових регіонах України в кілька разів перевищує аналогічні показники в країнах Східної Європи.

* Роботу виконано в межах проекту, що фінансується за рахунок коштів бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» (КПКВК 6541230).

В рамках відомих міжнародних програм (Сьомої рамкової програми, Horizon 2020 тощо) розроблено заходи щодо формування комплексних мереж моніторингу довкілля, які реалізують синергетичний підхід до моніторингу стану атмосферного повітря (САП), заснований на використанні нових інформаційних можливостей наземних та космічних систем спостереження, результатів моделювання процесів переносу атмосферних домішок, координованої роботи станцій спостережень в глобальному масштабі. В останні роки з'явилася низка іноземних публікацій, присвячених створенню системи моніторингу САП на основі безпроводних сенсорних мереж, які складаються з мініатюрних обчислювальних пристроїв — мотів, оснащених сенсорами, що можуть фіксувати як метеорологічні дані, так і концентрації забруднюючих домішок, та надавати отриману інформацію в режимі реального часу [1—3].

Аналіз світового досвіду свідчить про ефективність та перспективність сенсорних мереж як аналізаторів якості повітряного середовища. В умовах міст України така система моніторингу САП може допомогти вирішити більшість проблем, що склалися у цій галузі, покращити технічне оснащення існуючої мережі та підвищити її оперативність для зменшення техногенного впливу об'єктів енергетики на довкілля.

Постановка задачі та аналіз літературних джерел. Автоматизовані системи моніторингу САП в Україні здійснюють тільки опрацювання даних з постів спостереження, але не мають аналітичного забезпечення для розрахунку техногенних ризиків. Закордонні аналоги коштують занадто дорого й потребують додаткових заходів для адаптації в нашій країні. Отже, зростає актуальність розробок, спрямованих на створення методичного та програмного забезпечення задач аналізу даних екологічного моніторингу, необхідного для прийняття ефективних рішень щодо регулювання та зменшення техногенних навантажень на урбанізовані території. Зокрема, перспективи розвитку та використання бездротових сенсорних мереж для задач моніторингу САП розглянуто в роботі [1], а в роботі [3] наведено різні підходи до аналізу даних для дослідження міського клімату на прикладі міста Берлін (Німеччина).

Важливою складовою сучасної системи моніторингу САП є методи та засоби інтелектуального аналізу даних, за результатами яких має відбуватись управління екологічною безпекою потенційно-небезпечних об'єктів. Не зважаючи на значну кількість робіт даного напрямку, де розглянуто окремі засоби інтелектуального аналізу даних екологічного моніторингу [4—6], необхідно найближчим часом створити можливості для комплексного вирішення цієї проблеми з урахуванням вимог та рекомендацій сучасного міжнародного та українського законодавства.

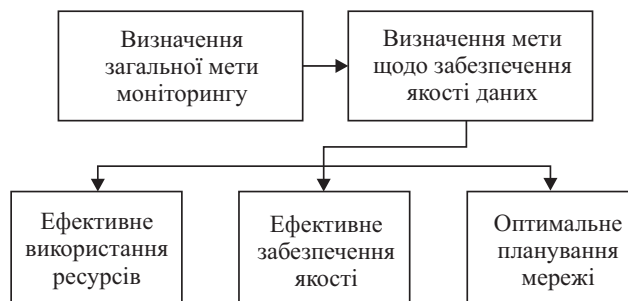


Рис. 1. Постановка задач в системі моніторингу САП

Новий інструментальний засіб моделювання для кількісного визначення впливу людини на забруднення повітря, описаний у роботі [2], розроблено на основі трафіку в межах окремих мікросередовищ за допомогою нового підходу до траєкторного аналізу індивідів. Було використано мобільні телефони з технологією GPS для збору щоденних траєкторій осіб з найвищою часовою роздільною здатністю і траєкторією, а в географічній інформаційній системі розроблено і впроваджено алгоритм геопросторового аналізу структури активності.

Використання Big Data та методів машинного навчання для екологічних задач розглянуто в [4], де, зокрема показано, як інтеграція інтенсивного підходу до машинного навчання з механістичним підходом, керованим гіпотезами, зумовлює виявлення нових знань.

У роботі [7] визначено перспективи застосування методів та засобів інтелектуального аналізу даних щодо інформаційної підтримки прийняття рішень, спрямованих на оцінювання наслідків техногенного впливу і зменшення обсягу навантажень на довкілля, запропоновано ряд методів та алгоритмів, які дають можливість оцінювати значення невідомих характеристик і параметрів за відомими даними, та надано приклади їх використання.

Для того щоб обрати та здійснити оптимальні ефективні заходи щодо планування мереж моніторингу, уточнити перелік пріоритетних забруднюючих речовин і методи їх вимірювань, а також визначити вимоги до управління даними, надзвичайно важливо чітко сформулювати загальні цілі, що стоять перед системою моніторингу, а також вимоги до якості даних (рис. 1).

Для планування мережі не існує універсальних правил, оскільки будь-яке рішення, зрештою, залежить від загальних цілей моніторингу і від наявності ресурсів. Аналогічне твердження можна також застосувати до засобів аналізу даних мережі моніторингу та прогнозування САП в задачах управління екологічною безпекою об'єктів енергетики.

Підготовка даних мережі моніторингу. Для інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу САП необхідно мати інформацію щодо джерел забруднення, даних моніторингу та ряду додаткових даних (демографічних, щодо захворюваності населення тощо). Оскільки обсяг цих даних є досить значним, для проведення швидких маніпуляцій з ними доцільно використовувати сучасні реляційні системи керування базами даних (СКБД).

До основних даних моніторингу належить така інформація про:

пости спостереження: номер, місто, адреса, географічні координати;

перелік міст (районів), в яких проводяться спостереження;

речовини-забруднювачі, за якими ведеться спостереження: номер, назва, одиниці виміру, гранично допустима концентрація максимальна разова (ГДК_{мр}), гранично допустима концентрація середньодобова (ГДК_{сд}), орієнтовні безпечні рівні впливу (ОБРВ), клас небезпеки;

інші показники спостереження (енергетичні, медичні, соціальні та ін.), які корелюють з екологічними;

проведені екологічні спостереження: номер запису, пост спостереження, речовина-забруднювач, середнє та максимальне перевищення ГДК, час та дата;

енергетичні об'єкти та підприємства: номер, місто, географічні координати, кількість труб та їх параметри;

викиди енергетичних об'єктів та підприємств: номер, труба, забруднюючі речовини, кількість викидів та їх параметри;

карти: номер, зображення, назва, географічні координати;

проведені неекологічні спостереження: номер запису, місто- район, показник, значення;

класи небезпеки речовин-забруднювачів;

метеорологічні дані: характеристики вітру, температура, опади тощо.

Додатковою інформацією можна вважати перелік місяців року, кварталів та інших проміжків часу. Згідно з цим переліком було створено 12 відповідних таблиць, зв'язки між якими відтворено на рис. 2. Більш детально інформаційно-програмні засоби підготовки даних та етапи організації бази даних наведено в [8—10]. Для подальшої розробки автономного програмного забезпечення задач інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу САП відповідно до сучасних вимог обрано засоби Borland Embarcadero RAD Studio XE6 та Microsoft Visual Studio 2017.

Методи та засоби дослідження. Для аналізу даних запропоновано геостатистичний підхід, що включає сучасні геоінформаційні системи (ГІС), які забезпечують просторове зображення досліджуваних територій у вигляді електронних екологічних карт. Результати багатовимірною ста-

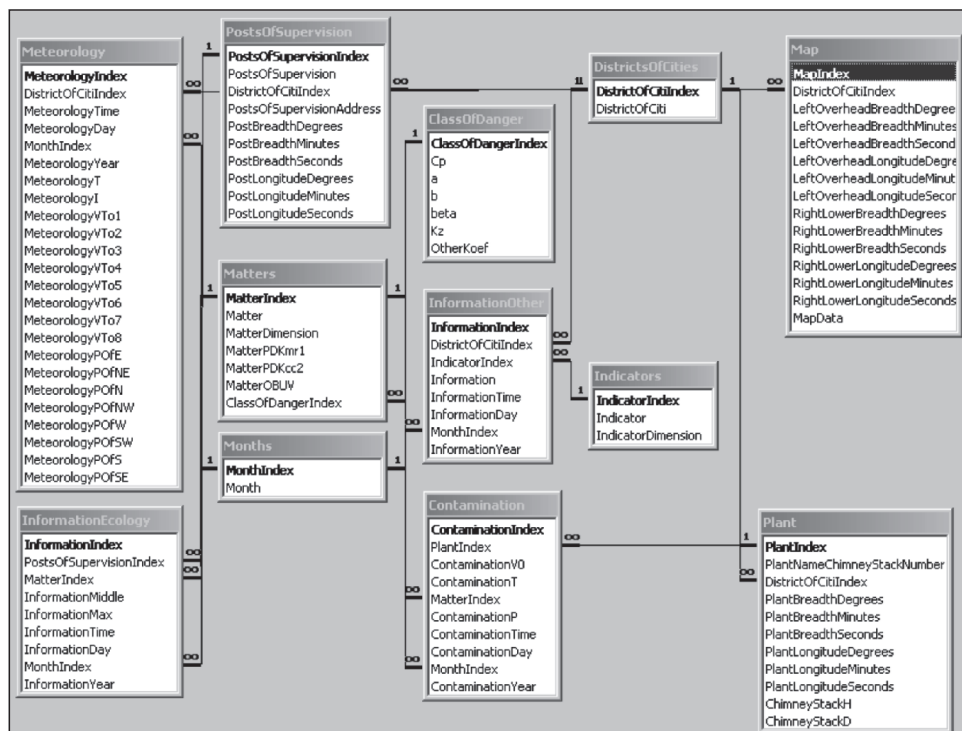


Рис. 2. Схема даних створеної бази та зв'язки таблиць

тистичного аналізу відтворюються на електронних картах, які побудовано за кількісними значеннями екологічних показників. Відтак, задача аналізу даних з позиції геостатистичного підходу зводиться до відтворення і візуального зображення рельєфу статистичної поверхні на основі числових значень показників в опорних точках [11].

До найвідоміших інструментів аналізу великих обсягів структурованих та неструктурованих даних в геоecологічних дослідженнях належать методи Big Data та засоби інтелектуального аналізу геопросторових даних (ІАГД), орієнтовані на виявлення нових знань та закономірностей у великих обсягах геопросторових даних, тобто даних, що мають географічні координати. Зокрема, на ринку програмного забезпечення Data Mining існує велика кількість продуктів, які належать до категорії Big Data. За класифікацією інструментів Data Mining згідно KDnuggets можна виділити інструменти загального і специфічного призначення, а також безкоштовні і комерційні інструменти. Найбільш популярна група інструментів включає наступні категорії:

- 1) набори інструментів;

- 2) класифікація даних;
- 3) кластеризація і сегментація;
- 4) інструменти статистичного аналізу;
- 5) аналіз текстів (Text Mining), вилучення відхилень;
- 6) інструменти візуалізації.

До першої категорії належать засоби, які включають методи класифікації, кластеризації та попередньої підготовки даних. До цієї групи належать відомі комерційні інструменти:

Clementine. Data Mining з використанням *Clementine* є бізнес-процесом, розробленим для мінімізації часу вирішення задач. *Clementine* підтримує процес *Data Mining*: доступ до даних, перетворення, моделювання, оцінювання та впровадження.

DBMiner 2.0 Enterprise — потужний інструмент для дослідження великих баз даних.

IBM Intelligent Miner for Data — інструмент, який використовує останні *Data Mining*-методи, підтримує повний *Data Mining* процес: від підготовки даних до презентації результатів.

Oracle Data Mining — забезпечує GUI, PL/SQL-інтерфейси, Java-інтерфейс та використовує методи байєсівської класифікації, алгоритми пошуку асоціативних правил, кластерні методи, SVM та ін.

SPSS — один з найпопулярніших інструментів, який підтримує багато методів *Data Mining*.

Statistica Data Miner — забезпечує всебічний, інтегрований статистичний аналіз даних, має потужні графічні можливості, управління базами даних, а також додаток для розробки систем.

Інтелектуальний аналіз геопросторових даних (spatial data mining) — окремих напрям геоінформатики, спрямований на системний аналіз геопросторових даних з метою пошуку закономірностей та співвідношень даних із врахуванням їх просторового розташування та топологічних відношень [12, 13]. Інтелектуальний аналіз геопросторових даних оперує різними методами, у яких скомбіновано обчислювальні, статистичні та візуальні засоби. У процесі застосування ГІС технологій у системах підтримки прийняття рішень (СППР) територіального управління виділяють три базових рівня (рис. 3): 1) інформаційний; 2) аналітичний; 3) ситуаційний.

До першого рівня належить вхідна інформація, яка опроцьовується в ГІС. Специфічними для використання в ГІС є бази геопросторових даних (БГД), дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), дані з датчиків та сенсорів з відомими координатами, історичні картографічні дані тощо.

На другому рівні використовуються ГІС як платформи для обробки та аналізу вхідної інформації. Тут мають бути виділені функції стандарти-

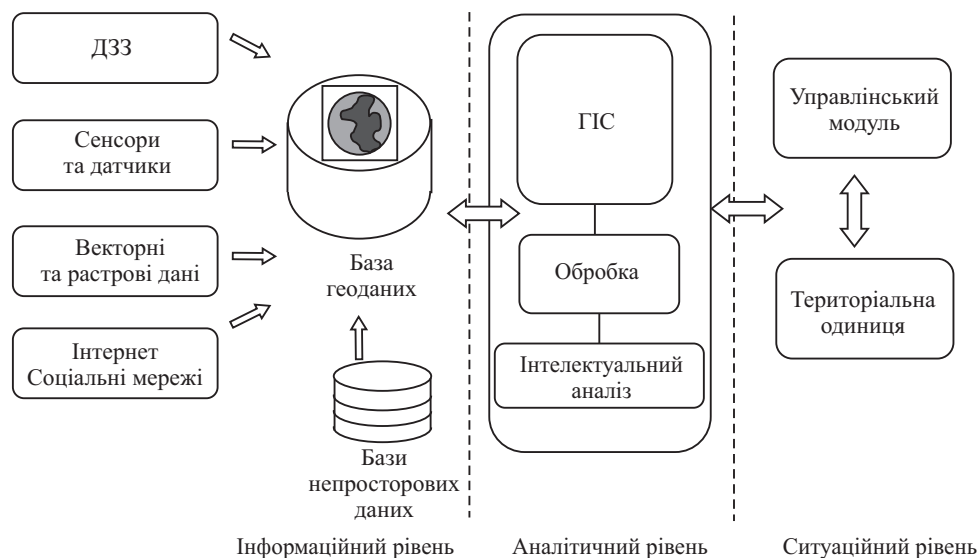


Рис. 3. Засоби ІАГД у структурі СППР територіального управління [13]

зації та нормалізації, сумісної обробки та інтелектуального аналізу даних. На цьому етапі ГІС може взаємодіяти з іншими системами обробки даних та бути складовою СППР.

Третій рівень пов'язаний із необхідністю прийняття рішень щодо аналізу конкретних ситуацій за допомогою інструментів СППР та ГІС. На цьому рівні важливу роль відіграють механізми колективної роботи за участю керівних осіб різних рівнів, експертів, технічного персоналу. До таких механізмів належать ситуаційні центри, онлайн конференції, робочі наради тощо.

Процес ІАГД містить основні кроки перетворення даних. Кожний крок здійснюється виконавцем з певною метою на основі вхідних баз даних та баз знань, які відповідають проблемному напрямку. На першому кроці обробка даних виконується за допомогою інтерфейсу СКБД. На цьому етапі здійснюється вибірка даних з усієї сукупності збережених даних, проведення простих операцій аналізу даних, які можна здійснити на основі вбудованих засобів СКБД [13]. На другому кроці відбувається опрацювання даних за допомогою алгоритмів ІАГД або їх послідовного використання. Отримані результати аналізуються з метою виявлення нової інформації. За результатами цього аналізу відбувається оцінювання даних, і в залежності від того, чи відповідають отримані результати критеріям аналізу, процедура повторюється з іншими параметрами або отримані результати передаються для прийняття рішень [13].

Отже, ІАГД має декілька напрямів, які забезпечують можливості різнобічного дослідження даних з урахуванням геопросторової складової. Це методи класифікації геопросторових даних, кластеризація та регіоналізація, правила асоціацій, а також геостатистика й геовізуалізація. Кожен із цих напрямів містить сукупність методів, за допомогою яких відбувається аналіз даних. Із розвитком ІАГД цей перелік доповнюється [13].

Інтелектуальний аналіз геопросторових даних моніторингу САП урбанізованих територій проведено з використанням інформаційно-аналітичної системи еколого-енергетичного моніторингу AISEEM [8—10, 14] та програми Orange [15]. Програма Orange — це сучасний інструмент для інтелектуального аналізу та візуалізації даних. Взаємодія з програмним забезпеченням Orange здійснювалась через інтеграцію методів та засобів Orange в систему AISEEM.

Приклади практичного використання. Дані щодо концентрацій забруднюючих речовин в повітрі завантажувались з автоматизованої системи моніторингу САП міста Кривий Ріг (Дніпропетровська область). Це єдина система моніторингу в Україні, де здійснюються безперервні виміри концентрацій основних забруднюючих речовин і метеорологічних параметрів атмосферного повітря (рис. 4). Інформацію щодо цих вимірів можна переглянути на сайті [16].

Спостереження здійснено за сімома забруднюючими речовинами: діоксид азоту (NO_2), оксид азоту (NO), сірчаний ангідрид (SO_2), оксид вуглецю (CO), аміак (NH_3), сірководень (H_2S), пил. Крім того, на міських постах автоматизованих спостережень (ПАС) № 3 та № 5 здійснюється спостереження за етаном (C_2H_6) та озоном (O_3), а метеорологічними параметрами є середня швидкість і напрямок вітру, температура, відносна вологість та тиск.

Наведемо результати аналізу даних для погодинних максимально разових концентрацій забруднюючих речовин та метеорологічних показників на міському ПАС № 1 з 10 по 16 грудня 2018 року. Для групування даних за допомогою ієрархічного алгоритму кластеризації (Hierarchical Clustering) та отримання карти відстаней (Distance Map) необхідно спочатку визначити відстань між стовпчиками вхідної таблиці даних. Для такого групування було обрано евклідову відстань.

На рис. 5 показано відстані між стовпчиками даних, де менші відстані позначено різними світлими кольорами, а більші — помаранчевими. Наведена матриця є симетричною, а її діагональ має помаранчевий відтінок.

На рис. 6, а, зображено групування елементів з максимальною глибиною дендограми, яка дорівнює чотирьом. При виборі числа верхніх вузлів $N = 4$ у перший кластер (блакитний колір) попали дані щодо концентрацій

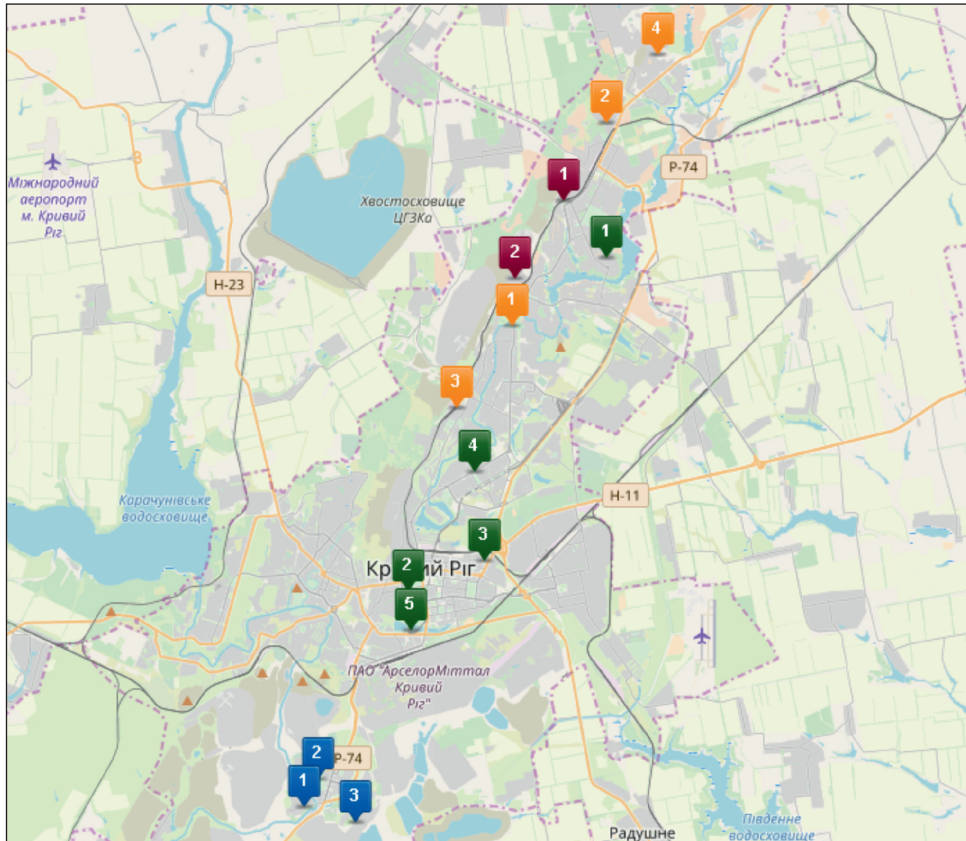


Рис. 4. Пости автоматизованого спостереження в місті Кривий Ріг

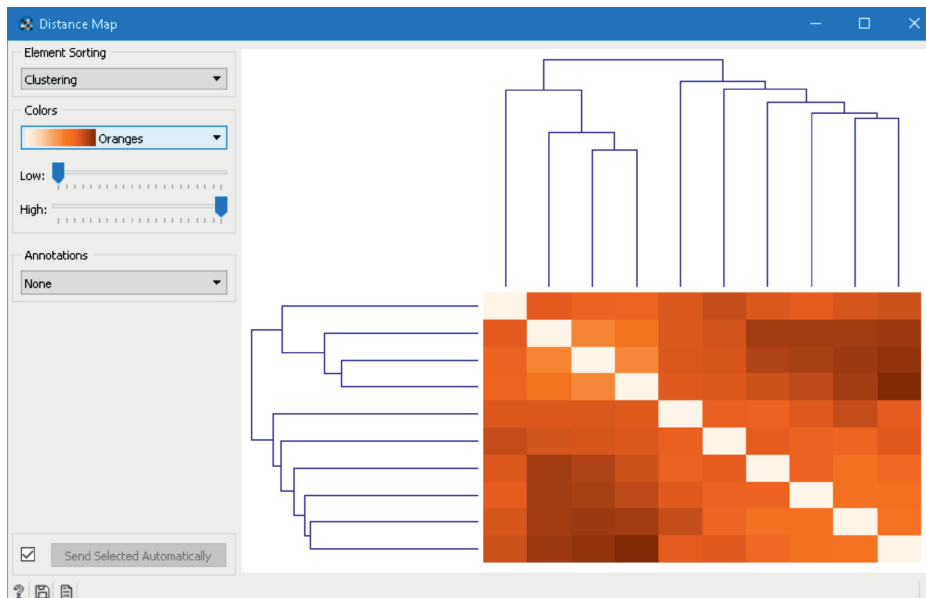
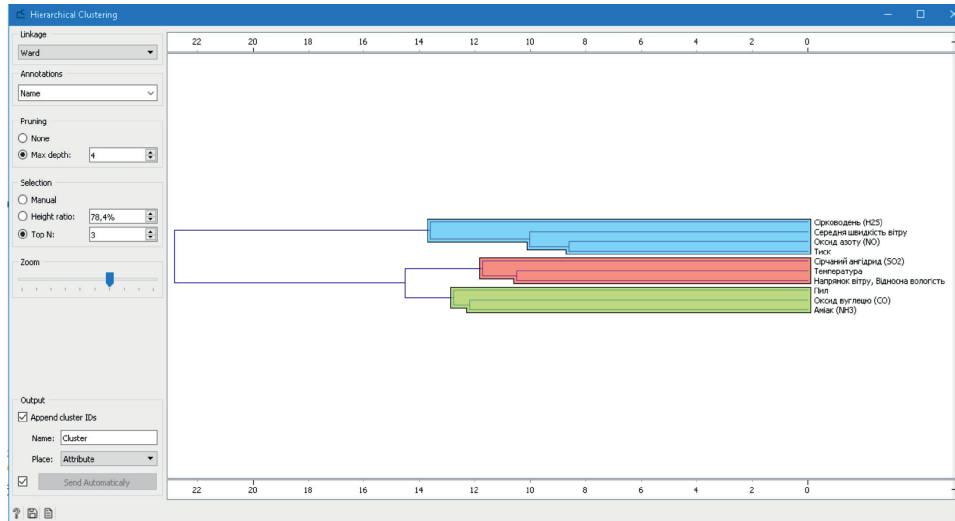
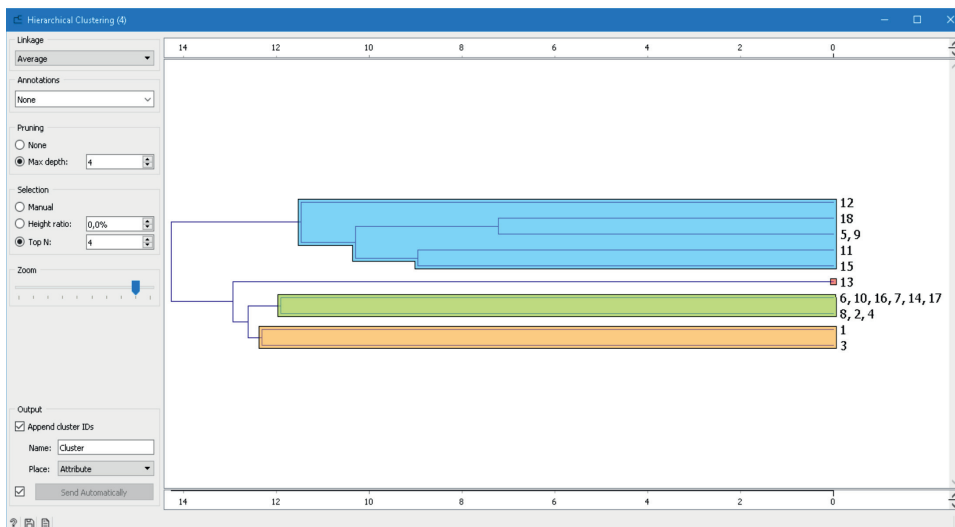


Рис. 5. Карта відстаней між стовпчиками даних (з екрану)



а



б

Рис. 6. Групування даних за допомогою ієрархічного алгоритму кластеризації (з екрану)

сірководня, оксиду азоту, середньої швидкості вітру та тиску, у другий кластер (помаранчевий колір) — дані про концентрацію оксиду вуглецю, сірчаного ангідриду, температури та відносної вологості і в третій кластер (світло-зелений колір) — дані щодо концентрації аміаку та пилу. Дані щодо концентрацій діоксиду азоту не попали в жодний кластер.

На рис. 6, б, показано групування елементів з максимальною глибиною дендограми, яка дорівнює чотирьом при забрудненні атмосферного

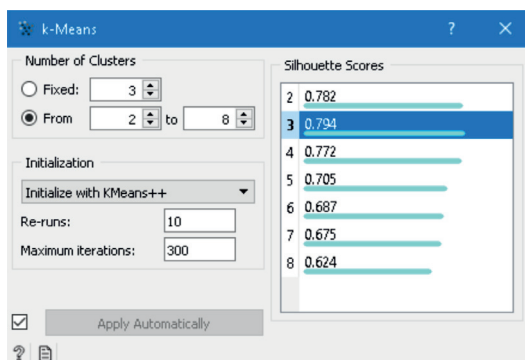


Рис. 7. Частоти розподілу трьох кластерів

повітря сірчанім ангідридом, оксидами азоту, пилом, а також метеорологічні дані на п'яти міських ПАС з 10 по 16 грудня 2018 року. При виборі числа верхніх вузлів $N = 4$ отримуємо кластери, наведені у таблиці. Дані щодо концентрацій діоксиду азоту на ПАС № 3 не попали в жодний кластер.

При кластеризації методом k -means (рис. 7) видно, що найкращий результат аналізу буде отримано при $k = 3$. Частоти розподілу для отриманих трьох кластерів показано на рис. 8.

Для пошуку закономірностей у масивах даних щодо концентрацій забруднюючих речовин в повітрі, які містять просторово координовану прив'язку, використано метод k NN (k найближчих сусідів). Інтелектуальний аналіз геопросторових даних проведено на середньодобових значеннях концентрацій забруднюючих речовин, виміряних 23 грудня 2018 року на всіх ПАС міста Кривий Ріг.

Результат роботи ієрархічного алгоритму кластеризації

Забруднюючі речовини на міських ПАС №1—5	Кластер	Забруднюючі речовини на міських ПАС №1—5	Кластер
Пил		ПАС № 5	2
ПАС № 1	3	NO ₂	
ПАС № 2	2	ПАС № 1	1
ПАС № 3	3	ПАС № 2	1
ПАС № 4	2	ПАС № 3	—
ПАС № 5	1	ПАС № 4	2
SO ₂		Середня швидкість вітру	1
ПАС № 1	2	Температура	2
ПАС № 2	2	Відносна вологість	2
ПАС № 3	2	Тиск	1
ПАС № 4	1		

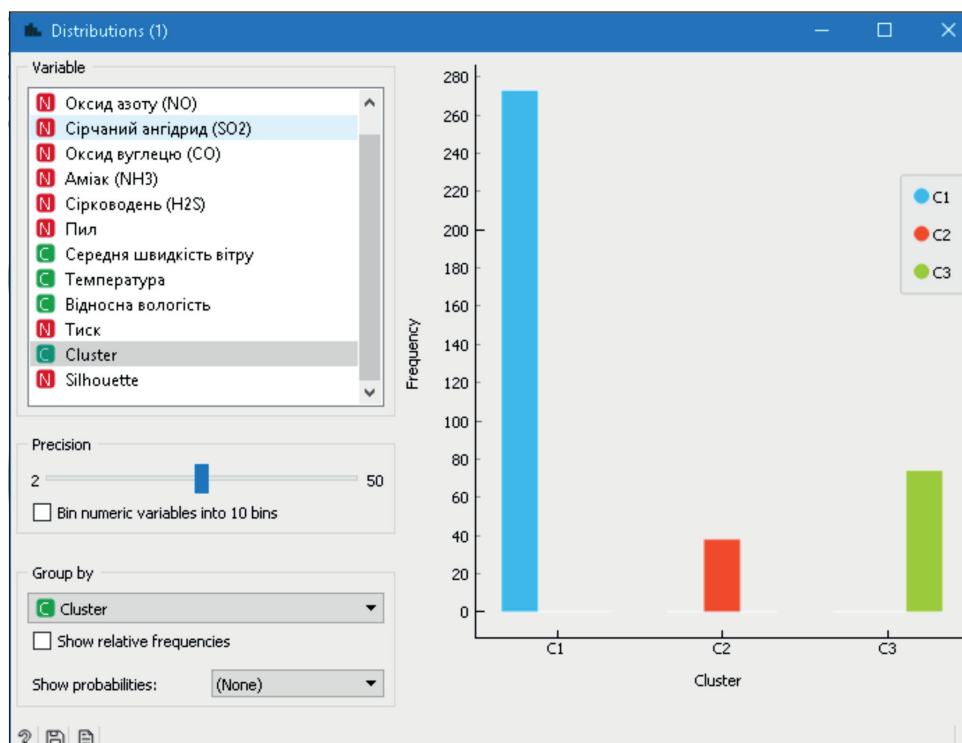
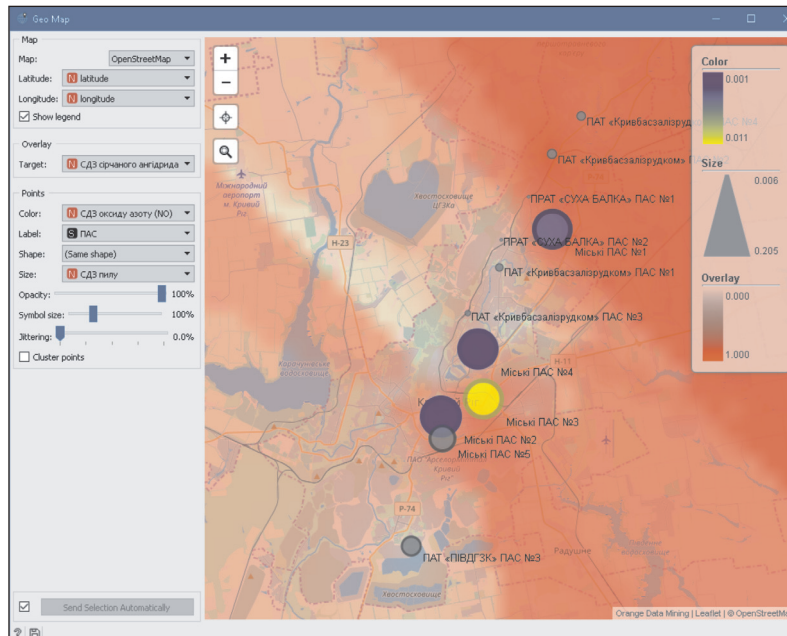


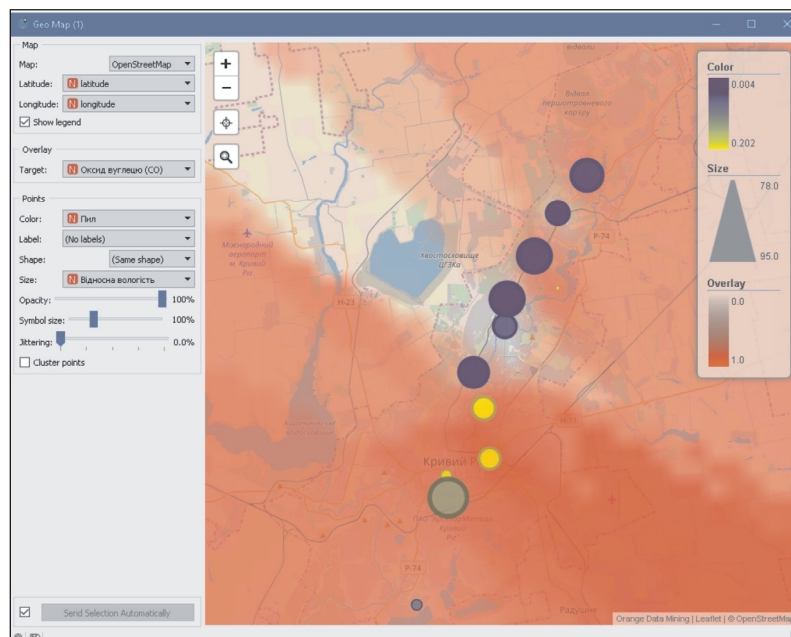
Рис. 8. Форма кластеризації методом k -means

При $k = 3$ та евклідовій метриці отримано карту, зображену на рис. 9. За таких умов одержано приклад «інтелектуальної візуалізації» підвищених рівнів забруднення повітря сірчаним ангідридом (рис. 9, а), що спостерігаються у північно-східній, східній та частково у південно-східній частинах міста (червоний колір). Найменш забрудненими є центральна та північно-західна частини міста. Розміри кіл, центри яких лежать в місцях розташування ПАС, залежать від концентрацій пилу, а їх зафарбування — від концентрації оксиду азоту. На жаль, дані щодо концентрацій оксиду азоту надано тільки для чотирьох постів.

На рис. 9, б, показано приклад інтелектуальної візуалізації підвищених рівнів забруднення атмосферного повітря оксидами вуглецю за оперативними даними, зафіксованими о 10 годині 25 грудня 2018 року при західному напрямку вітру. Підвищені рівні забруднення повітря оксидами вуглецю спостерігаються у південно-східній та південній частинах міста (червоний колір). Найменш забрудненими є центральна та північно-західна частини міста. Розміри кіл, центри яких лежать в місцях розташування ПАС, залежать від вологості повітря, а їх зафарбування — від концентрації пилу.



а



б

Рис. 9. Інтелектуальна візуалізація підвищених рівнів забруднення сірчанним ангідридом (а) та оксидами вуглецю (б) (з екрану)

В цілому застосування інтелектуальних технологій для виявлення нових знань та закономірностей потребує значно більшої кількості даних щодо забруднення атмосфери, викидів транспорту та підприємств, захворюваності населення тощо.

Висновки

З розвитком автоматизованих мереж моніторингу САП підвищується актуальність методичного та програмного забезпечення задач аналізу даних екологічного моніторингу, необхідного для прийняття ефективних рішень щодо регулювання та зменшення техногенних навантажень на урбанізовані території. Для інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу САП необхідно мати інформацію про джерела забруднення, дані моніторингу та ряд додаткових даних. При вирішенні задач моніторингу САП урбанізованих територій необхідно враховувати вимоги до функціонування мереж моніторингу з метою підвищення якості вимірюваних даних щодо рівнів забруднення та виявлення цінної інформації, необхідної для прийняття рішень. Сучасні інструменти та засоби забезпечують інтелектуальний аналіз геопросторових даних та візуалізацію досліджуваних територій у вигляді електронних екологічних карт, що дозволяє оперативніше вирішувати ряд задач екологічної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Chen C., Chuang C., Jiang J.* (2013) «Ecological Monitoring Using Wireless Sensor Networks—Overview, Challenges, and Opportunities». / *Advancement in Sensing Technology. Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*, vol. 1, pp. 1—21.
2. *Dias D. and Tchepel O.* (2014), «Modelling of human exposure to air pollution in the urban environment: a GPS-based approach». *Environmental Science and Pollution Research* 21.5, pp. 3558—3571.
3. *Meier F. et al.*, (2015), «Challenges and benefits from crowdsourced atmospheric data for urban climate research using Berlin, Germany, as testbed». *Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate*.
4. *Peters D. et al.*, (2014), «Harnessing the power of big data: infusing the scientific method with machine learning to transform ecology». *Ecosphere* 5.6, pp. 1—15.
5. *Алгоритмы интеллектуального анализа данных* / Дата доступу 20.12.2017. Режим доступу: <https://tproger.ru/translations/top-10-data-mining-algorithms/>
6. *Шитиков В.К., Мاستицкий С.Э.* Классификация, регрессия, алгоритмы Data Mining с использованием R. [Електронний ресурс] // Веб-сайт. Дата доступу 13.11.2018. Режим доступу : <https://github.com/ranalytics/data-mining>. Загол. з екрану.
7. *Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., Артемчук В.О. та ін.* Принципи та методи управління екологічною безпекою на основі інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу атмосферного повітря // *Електрон. моделювання*, 2019, **41**, № 4.
8. *Артемчук В.О., Білан Т.Р., Білінов І.В. та ін.* Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики. Київ, Україна: ТОВ «Наш формат», 2017.

9. *Артемчук В.А., Каменева И.П., Яцишин А.В.* Специфика применения когнитивного анализа информации в задачах обеспечения экологической безопасности // *Электрон. моделирование*, 2017, **39**, № 6, с. 107—124.
10. *Яцишин А.В.* Комплексне оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненнях атмосферного повітря. Дисертація ... докт. тех. наук. Київ, 2013, 402 с.
11. *Джонсон К.* ArcGIS Geostatistical Analyst. Руководство пользователя. М.: Дата+, 2001, 278 с.
12. *Геоинформатика.* Учебник для студентов ВУЗов / В.С. Тикунов, Е.Г. Капралов, В.И. Кравцова и др. М. : Издательский центр «Академия», 2008, 386 с.
13. *Путренко В.В.* Системні основи інтелектуального аналізу геопросторових даних // *Системні дослідження та інформаційні технології*, 2015, № 3, с. 20—33.
14. *Артемчук В.А., Каменева И.П., Яцишин А.В.* Модели представления и преобразования данных в задачах экологического мониторинга урбанизированных территорий // *Электрон. моделирование*, 2016, **38**, № 2, с. 49—66.
15. *Orange* [Електронний ресурс] Веб-сайт. Дата доступу 02.02.2019. Режим доступу : <http://orange.biolab.si/download/>. Загол. з екрану.
16. *Кривий Ріг.* Автоматизовані пости спостереження [Електронний ресурс] Веб-сайт. Дата доступу 02.02.2019. Режим доступу : <https://krmisto.gov.ua/ua/rc/ecomon.html>. Загол. з екрану.

Отримано 18.06.19

REFERENCES

1. Chen, C., Chuang, C., Jiang, J. (2013), “Ecological Monitoring Using Wireless Sensor Networks-Overview, Challenges, and Opportunities”, *Advancement in Sensing Technology. Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*, Vol. 1, pp. 1-21.
2. Dias, D. and Tchepel, O. (2014), “Modelling of human exposure to air pollution in the urban environment: a GPS-based approach”, *Environmental Science and Pollution Research* 21.5, pp. 3558-3571.
3. Meier, F. (2015), “Challenges and benefits from crowdsourced atmospheric data for urban climate research using Berlin, Germany, as testbed”, *the Proceeding of the 9th International Conference on Urban Climate*.
4. Peters, D. (2014), Harnessing the power of big data: infusing the scientific method with machine learning to transform ecology, *Ecosphere*, pp. 1-15.
5. “Algorithms of the intellectual data analysis”, available at: <https://tproger.ru/translations/top-10-data-mining-algorithms/> (accessed February 25, 2019).
6. Shitikov, V.K., Mastitsky, S.E. (2019), “Classification, regression, Data Mining algorithms using R”, available at: <https://github.com/ranalytics/data-mining> (accessed May 2, 2019).
7. Yatsyshyn, A.V., Kutsan, Yu.G., Artemchuk, V.O., Kameneva, I.P., Popov, O.O. and Kovach, V.O. (2019), “The principles and methods of ecological safety management through the data of air monitoring network analysis”, *Elektronne modelyuvannya*, Vol. 41, no. 4.
8. Artemchuk, V.O., Bilan, T.R. and Blinov, I.V. (2017), *Teoretychni ta prykladni osnovy ekonomichnoho, ekolohichnoho ta tekhnolohichnoho funkcionuvannya ob"yektiv enerhetyky* [Theoretical and applied bases of economic, ecological and technological functioning of energy objects], Nash format, Kyiv, Ukraine.
9. Artemchuk, V.O., Kameneva, I.P. and Yatsyshyn, A.V. (2017), “Specificity of the application of cognitive analysis of information in the tasks of ensuring environmental safety”, *Elektronnoe modelirovanie*, Vol. 39, no. 6, pp. 107-124.
10. Yatsyshyn, A.V. (2013), “Comprehensive assessment and management of environmental safety in air pollution”, Abstract of Doct. Sci. (Tech.) dissertation, 21.06.01, SI “Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine”, Kiev, Ukraine.

11. Johnson, K. (2001), *ArcGIS Geostatistical Analyst. Rukovodstvo pol'zovatelya* [ArcGIS Geostatistical Analyst. User's manual], Data+, Moscow, Russia.
12. Kapralov, E.G. (2008), *Geoinformatika: uchebnik dlya vuzov* [Geoinformatics: a textbook for universities], *Izdatel'skiy tsentr "Akademiya"*, Moscow, Russia.
13. Putrenko, V.V. (2015), "The system basis of data mining of geospatial data", *Systemni doslidzhennya ta informatsiyi tekhnolohiyi*, no. 3, pp. 20-33.
14. Artemchuk, V.O., Kameneva, I.P. and Yatsyshyn, A.V. (2016), "Models of representation and data transformation in the problems of environmental monitoring in urban areas", *Elektronnoye. modelirovaniye*, Vol. 38, no. 2, pp. 49-66.
15. Orange, available at: <http://orange.biolab.si/download/> (accessed February 2, 2019).
16. Kryviy Rih. Automated surveillance posts, available at: <https://krmisto.gov.ua/ua/rc/ecomon.html> (accessed February 2, 2019).

Received 18.06.19

*А.В. Яцишин, Ю.Г. Куцан, В.А. Артемчук,
И.П. Каменева, А.А. Попов, В.Е. Ковач*

СРЕДСТВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Проанализированы основные задачи мониторинга состояния атмосферного воздуха (САП) и требования к совершенствованию сети наблюдений за состоянием окружающей среды для уменьшения негативных воздействий на урбанизированные территории и население промышленных городов Украины. Представлены современные инструменты и средства анализа больших объемов структурированных и неструктурированных геопространственных данных, в частности методы обработки Big Data и методы интеллектуального анализа геопространственных данных. Осуществлена адаптация отдельных средств для задач мониторинга САП. Приведены примеры интеллектуального анализа и визуализации геопространственных данных, отражающих уровень техногенных нагрузок на атмосферный воздух.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экологическая безопасность, сеть мониторинга, интеллектуальный анализ, визуализация данных, атмосферный воздух.

*A.V. Iatsyshyn, Yu. G. Kutsan, V.O. Artemchuk,
I.P. Kameneva, O.O. Popov, V.O. Kovach*

MEANS OF INTELLECTUAL ANALYSIS AND VISUALIZATION GEOSPATIAL ATMOSPHERIC AIR MONITORING DATA

The main tasks of monitoring the atmospheric air and the requirements for improving the network of environmental monitoring are analyzed in the context of reducing the negative impacts on urban areas and population of industrial cities in Ukraine. Modern tools and tools for analyzing large volumes of structured and unstructured geospatial data, such as Big Data processing methods and geospatial data mining methods, are presented. The adaptation of separate means for the monitoring of atmospheric air has been made. Examples of intellectual analysis and visualization of geospatial data reflecting the levels of man-made loads on atmospheric air are given.

К е у в о р д s: ecological safety, monitoring network, intellectual analysis, data visualization, atmospheric air.

ЯЦИШИН Андрій Васильович, д-р техн. наук, пров. наук. співр. Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. У 2002 р. закінчив Київський національний університет ім. Т.Г. Шевченка. Область наукових досліджень — математичне моделювання екологічних процесів, екологічний моніторинг техногенних об'єктів, інформаційні технології.

КУЦАН Юлій Григорович, д-р техн. наук, в.о. заст. директора з наукової роботи Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. У 1966 р. закінчив Київський політехнічний ін-т. Область наукових досліджень — моделювання технологічних процесів в енергетичній галузі.

АРТЕМЧУК Володимир Олександрович, канд. техн. наук, ст. наук. співр. Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. У 2008 р. закінчив Житомирський державний технологічний університет. Область наукових досліджень — математичне моделювання та чисельні методи, інформаційні технології.

КАМЕНЕВА Ірина Петрівна, канд. техн. наук, ст. наук. співр. Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. У 1976 р. закінчила Київський державний університет ім. Тараса Шевченка. Область наукових досліджень — аналіз даних і математичне моделювання в екології.

ПОПОВ Олександр Олександрович, д-р техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр. Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. У 2004 р. закінчив Житомирський державний технологічний університет. Область наукових досліджень — математичне моделювання забруднення довкілля, вирішення актуальних задач цивільного захисту території, навколишнього природного середовища та населення.

КОВАЧ Валерія Омелянівна, канд. техн. наук, заст. директора Навчально-наукового інституту неперервної освіти Національного авіаційного університету. У 2011 р. закінчила Національний авіаційний університет. Область наукових досліджень — впровадження наукових засад освіти впродовж життя, державні механізми управління ринком праці.