

## V. КАРТОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.14>  
УДК 528.92 / .94 : 004.9

Е. Бондаренко, д-р геогр. наук, проф.  
ORCID iD: 0000-0002-2295-146X,  
О. Яценко, асист.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

### ГІС У ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

*Запропоновано методичний підхід до проведення загального (стандартного) моніторингу навколишнього середовища на основі функціональних можливостей географічних інформаційних систем (ГІС). Він полягає в теоретико-методологічному обґрунтуванні алгоритму створення первинних оціночних картографічних моделей, що визначають стан довкілля в цілому та за окремими компонентами.*

*Автори сформулювали вимоги для врахування у процесі створення системи геоінформаційного моніторингу довкілля, які в цілому корелюються із завданнями Державної системи моніторингу довкілля. Такими є: багаторівневість системи моніторингу, комплексність спостережень за станом і динамікою об'єктів природокористування, взаємна узгодженість різнорідних показників, залежність періодичності спостережень від розвитку природних та антропогенних процесів, системність спостережень із відпрацюванням методики прогнозування та моделювання, необхідність систематизації цих спостережень у базах даних ГІС.*

*Авторами представлено та розкрито зміст методологічних принципів побудови системи моніторингу на основі ГІС, розподілених на дві групи: регламентних щодо створення і роботи ГІС моніторингу (об'єктивності, систематичності спостережень за станом довкілля, багаторівневості, узгодженості нормативного й методичного забезпечення, узгодженості програмного та технічного забезпечення, інтероперабельності, оперативності проходження інформації між окремими ланками системи, відкритості інформації для населення) та тих, що забезпечують стан необхідної інформації для використання її у ГІС (повноти інформації, достовірності, сучасності, комплексності в оцінці екологічної інформації, багатоваріантності подання результату).*

*Визначено вимоги до інформаційного забезпечення ГІС моніторингу навколишнього середовища (врахування всього комплексу природних, соціальних та економічних характеристик об'єктів довкілля, використання тематичних і спеціальних карт різного змісту та призначення додатково до даних натурних спостережень, доповнення картографічних матеріалів статистичними, текстовими даними, що відображають статистику і динаміку об'єктів та явищ моніторингу, представлених на результуючих картах, проведення періодичного оновлення інформаційного забезпечення ГІС із використанням матеріалів дистанційного зондування), її структуру (блокову) та архітектуру (розподілену).*

*Алгоритм моніторингу довкілля на основі ГІС реалізовано на прикладі створення первинних результуючих картографічних моделей оціночного типу – карт полів забруднення атмосферного повітря за індексом якості атмосферного повітря AQI PM 2.5.*

*Ключові слова: географічна інформаційна система, ГІС, моніторинг, навколишнє середовище, оціночні картографічні моделі, база даних, методологічні принципи, інформаційне забезпечення, індекс якості атмосферного повітря.*

**Вступ. Постановка проблеми.** Загальний (або стандартний) моніторинг навколишнього природного середовища (довкілля) як комплексна науково-інформаційна система регламентованих періодичних безперервних, довгострокових спостережень, оцінки і прогнозу змін стану природного середовища з метою виявлення негативних змін і вироблення рекомендацій стосовно їх усунення або ослаблення спрямовано на вирішення широкого спектра завдань природоохоронної діяльності. Він формує оптимальні за кількістю параметрів спостереження в пунктах, об'єднаних в єдину інформаційно-технологічну мережу, що дають змогу на основі оцінки та прогнозування стану навколишнього середовища проводити розроблення управлінських рішень на всіх рівнях. Такі спостереження будуть раціональними у випадку застосування для фіксації результатів можливостей моніторингових географічних інформаційних систем (ГІС) як важливої програмно-технічної складової зазначеного виду моніторингу довкілля (виділеного за призначенням) та дозволять акумулювати великі масиви різнотипної інформації, здійснювати оброблення та наочно представляти просторові закономірності розподілу показників сфери природокористування.

Проектування, створення і використання вказаних ГІС безперечно сприятиме реалізації державної системи екологічного моніторингу довкілля (ДСМД), регіональних екологічних програм відповідно до норм чинного законодавства [6]. А у зв'язку з початком в Україні реальної активізації робіт із розроблення національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) після прийняття відповідного Закону [5], який передбачає створення єдиного "вікна доступу" для роботи із просторовими даними, дані загального моніторингу довкілля можуть стати загальнодоступними для використання всіма суб'єктами (згідно з

їхньою категорією та правами). Відкритість даних моніторингу також сприятиме розумінню громадянами стану навколишнього природного середовища, в якому вони живуть, працюють і відпочивають; ефективному державному плануванню управління природоохоронною сферою; кращому громадському контролю; зміні ставлення та поведінки людей на побутовому рівні [2].

Досягнення необхідної ефективності використання ГІС у задачах моніторингу довкілля уможливує потребу узагальнення основних положень її розроблення на теоретичному, методологічному та методичному рівнях. Це і визначає актуальність цієї статті.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Вивчення досвіду проведення моніторингу довкілля в Україні зі спрямованістю на використання ГІС здійснено шляхом аналізу існуючих нормативно-правових актів; наукових публікацій у вигляді монографій, статей у фахових журналах, а також інших інформаційних джерел. У цілому висвітлення питань геоінформаційного забезпечення результатів моніторингу обмежуються використанням функціональних можливостей програмних продуктів, які належать до ГІС або виконують їх окремі функції.

У нормативних документах [6, 10] сформульовані рамкові положення здійснення ДСМД; його структуру та рівні (національний, регіональний, локальний); порядок функціонування й можливі види забезпечення (науково-методичне, метрологічне, матеріально-технічне, фінансове). У [10] акцентовано, що узагальнення інформації про стан навколишнього природного середовища має здійснюватися з використанням сучасних комп'ютерних технологій (без уточнення, яких саме).

У монографії [1] у контексті формулювання теоретико-методологічних основ геоінформаційного еколого-

географічного картографування території України розглянуто питання геоінформаційного забезпечення та картографічного представлення результатів моніторингу довкілля в цілому та окремих компонентів на його основі. Зокрема, водного середовища, атмосферного повітря, біологічного різноманіття. Але зі збільшенням функціональності ГІС, розширенням моніторингових задач, геоінформаційне забезпечення потребує удосконалення.

У монографії [9] подано технологію інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод як компонента навколишнього середовища. Описано комплекс методів, прийомів, алгоритмів і програмного забезпечення, яке було апробовано та впроваджено на практиці для розв'язання важливих прикладних задач у галузі моніторингу поверхневих вод та моделювання екологічних процесів у водних екосистемах в Україні.

Головними трендами, в яких написані виділені статті у вітчизняних збірниках наукових праць, є розгляд науково-технічних аспектів створення / використання ГІС, зокрема загальної архітектури розподіленої системи для обробки геопросторових даних і представлення результатів, призначених для моніторингу довкілля й надзвичайних ситуацій [7] та особливостей компонентного складу ГІС моніторингу довкілля [8].

**Мета та завдання.** Метою статті визначено обґрунтування підходу до проведення геоінформаційного моніторингу навколишнього середовища зі створенням первинних оціночних картографічних моделей, що визначають його стан у цілому та за окремими компонентами.

На основі поставленої мети доцільно для виконання виділити головні завдання:

- розкрити вимоги для врахування у процесі створення системи моніторингу довкілля на основі ГІС;
- представити систему методологічних принципів побудови системи моніторингу та відповідної географічної інформаційної системи для її реалізації;
- на етапі розроблення пропонуваної ГІС розкрити принципи ефективності її функціонування щодо можливості вирішення поставлених задач;
- визначити вимоги до інформаційного забезпечення ГІС моніторингу навколишнього середовища, її структуру та архітектуру;
- представити алгоритм моніторингу довкілля на основі ГІС на прикладі створення результатуючих картографічних моделей оціночного функціонального типу.

**Методологія та методика.** Загальною методологічною основою цієї розробки виступають базові положення геоінформатики та картографії щодо можливості комп'ютерного представлення географічних даних у вигляді баз даних і картографічного відображення в геоінформаційному середовищі різноманітних явищ та процесів, якими виступають усі складові навколишнього природного середовища, що підлягають моніторингу.

На основі обраної методології для досягнення поставленої мети під час виконання цього дослідження застосовано методи: *системного підходу* – для вивчення об'єкта дослідження як складової частини цілісної складної системи, що утворена низкою підсистем і має функціональні залежності та зв'язки в межах системи, між її окремими підсистемами; *аналізу та синтезу* – для окреслення головних ознак і принципів вибору програмно-технічної основи створення моніторингових ГІС; *наукової класифікації, порівняльний* – для виокремлення вимог, принципів, програмних продуктів і технічних засобів, придатних і необхідних для сучасної реалізації моніторингових задач; *інформаційний, кібернетичний* – для вивчення об'єкта дослідження (довкілля в цілому і за компонентами) та систематизації знань про нього у вигляді

баз даних, її використання у методичній схемі відображення поточних (проміжних) і кінцевих результатів; *геоінформаційного картографування* – для картографічної візуалізації моніторингових показників у межах запропонованої методичної схеми та ГІС у цілому.

**Виклад основного матеріалу.** Предметом моніторингу довкілля виступає організація та функціонування спостережень, оцінювання і прогнозування стану екологічних систем, їх елементів, біосфери, характеру впливу на них природних та / або антропогенних факторів.

Об'єктами моніторингу довкілля залежно від рівня та мети досліджень є навколишнє середовище, його елементи і джерела впливу на нього, зокрема, атмосферне повітря, підземні та поверхневі води, ґрунти, відходи, несприятливі природні процеси (зсуви, карст тощо).

Теоретичний рівень розроблення ГІС моніторингу довкілля для виконання основних задач (спостереження за станом біосфери, оцінка і прогноз її стану, визначення ступеня антропогенного впливу на довкілля, виявлення факторів і джерел впливу) характеризується тим, що у процесі створення необхідно передбачити її відповідність таким вимогам, які загалом корелюються із завданнями ДСМД:

- моніторинг доцільно будувати як багаторівневу систему, причому кожен територіальний рівень цієї системи має відрізнятися узагальненням вихідних даних;
- основою моніторингу повинні стати комплексні дистанційні, наземні та підземні спостереження за станом і динамікою розвитку об'єктів природокористування;
- показники стану та динаміки природного й техногенного середовища, що отримані різними методами, мають бути узгоджені між собою;
- періодичність спостережень повинна залежати від інтенсивності розвитку природних і антропогенних процесів, тобто чим вони інтенсивніші та швидкоплинніші, тим доцільніше вибирати менші інтервали спостережень;
- для формування та функціонування системи моніторингу необхідна організація постійно діючих еталонних полігонів, на яких проводяться системні спостереження, відпрацьовується методика прогнозування та моделювання;
- систематизація даних має здійснюватись у базах даних моніторингових ГІС.

На методологічному рівні головним науковим підходом до створення ГІС моніторингу довкілля необхідно обрати системний. Він полягає в розгляді об'єкта дослідження як складової частини цілісної складної системи, що утворена низкою підсистем і має функціональні залежності та зв'язки в межах системи, а також між її окремими підсистемами. Цей підхід також забезпечує єдність створення різних видів забезпечення, їхню сумісність, визначає методи проектування ГІС, її структуру тощо.

Можливості використання системного підходу під час розроблення ГІС моніторингу довкілля доцільно розглядати у взаємопов'язаних аспектах через:

- науковий метод використання комп'ютерних технологій, що передбачає високий рівень автоматизації процесів збору, систематизації, редагування інформації, виведення результатів, а також визначає ефективність організації робіт у ГІС;
- конкретну методологію та методику проектування, розроблення і експлуатації ГІС, що реалізується через взаємодію окремо-наукових методів, принципів і практичних алгоритмів на всіх етапах зазначених процесів;
- концептуальну та методичну основу створення і застосування єдиної системи картографічних моделей (різних типів за однією або декількома ознаками класифікації), що є проміжним або кінцевим результатом геоінформаційного моніторингу навколишнього середовища (у цілому та за компонентами).

Застосування методології розроблення системи геоінформаційного моніторингу довкілля здійснюється на основі запропонованих авторами (з уточненням за переліком та змістом) принципів, розподілених на дві групи.

*Регламентними (перша виділена група)* щодо створення і роботи ГІС моніторингу визначено принципи:

- об'єктивності, які узгоджується з характеристикою об'єктно-предметної сутності моніторингу навколишнього середовища;

- систематичності спостережень за станом довкілля (визначається чітко обґрунтованими на теоретичному рівні та встановленими інтервалами, термінами і періодами);

- багаторівневості (пов'язується насамперед із територіальними рівнями збору, систематизації та представлення результатів моніторингу навколишнього середовища);

- узгодженості нормативного й методичного забезпечення (методики розробляються з урахуванням норм наявних регламентних документів, зокрема щодо реалізації на рівні ДСМД та / або регіональних екологічних програм);

- узгодженості програмного та технічного забезпечення (обрані продукти для створення ГІС за характеристиками (операційна система, необхідна постійна та оперативна пам'ять) мають узгоджуватись із можливостями технічної системи (комп'ютера) для її ефективної роботи);

- інтероперабельності (як здатності геоінформаційних ресурсів, програмних і технічних засобів до функціональної та інформаційної взаємодії в середовищі ГІС, зокрема гнучкості у взаємодії з різними апаратними базами, операційними системами, програмним забезпеченням і способами представлення географічних даних з їхніми просторовими характеристиками);

- оперативності проходження інформації між окремими ланками системи (забезпечується можливостями комунікаційних каналів прийому – передавання інформації та частково від функціоналу ГІС як програмного продукту);

- відкритості інформації для населення (як реалізація можливостей загальнодоступності даних, що узгоджується із властивостями НІГД. Інтеграція ГІС моніторингу у найближчій перспективі до НІГД полегшить пошук необхідної інформації у базі даних, що є інваріантною складовою частиною та інформаційною основою геоінформаційного забезпечення моніторингу і дозволить формувати різноманітні документи, зокрема у вигляді картографічних творів, стосовно тих завдань, які безпосередньо пов'язані із прогнозом, експертизою, динамікою, контролем та оцінкою стану природного середовища в цілому та за компонентами, відкриті для населення).

**Другу групу** формують принципи, що забезпечують стан необхідної інформації для використання у ГІС моніторингу навколишнього середовища на різних етапах (стадіях) її роботи, а саме:

- повноти інформації (має характеризувати всі складові реальної дійсності, які підлягають моніторингу);

- достовірності (визначає властивість одержаної інформації щодо правильного її сприйняття; імовірність відсутності помилок, безсумнівна вірність наведених відомостей, що сприймає людина як користувач моніторингової інформації);

- сучасності (забезпечується через актуальність інформації для використання у ГІС);

- комплексності в оцінці екологічної інформації (виявляється в картографічному охопленні всіх можливо існуючих ієрархічних територіальних рівнів моніторингу – від площі всієї держави до окремих локальних об'єктів, які мають екологічно значущі характеристики. При цьому необхідно враховувати, що в сучасному світі держава є

окремим умовним регіоном у глобальному зрізі. Варто також ураховувати, що кожен рівень характеризується специфічною побудовою бази даних і залежить від наявних показників, а також призначення вихідних картографічних моделей);

- багатоваріантності представлення результатів (допускає різнобічну оцінку екологічних ситуацій і представлення кінцевого результату різними варіантами висновків та передбачає, зокрема, декілька шляхів. На етапі інформаційного забезпечення можливе використання або різноманітних даних, які характеризують одне і те саме екологічне явище чи процес, або використання різних систем вихідних показників, що обробляються за одним алгоритмом із однотипним представленням результатів геоінформаційного моделювання для залежності кінцевих висновків лише від інформаційного забезпечення. На цьому самому етапі багатоваріантність також може бути пов'язана з можливістю обробки одного інформаційного масиву вихідних даних за різними алгоритмами з обов'язковим урахуванням точності результатів, яка має бути однаковою; можливістю відображення результатів геоінформаційного картографування різними способами картографічного зображення, що в першу чергу пов'язано з автоматизацією процесу картографування взагалі. Безпосередньо з багатоваріантністю пов'язана оцінка достовірності результатів картографування, а багатоваріантність, що виявляється в можливостях паралельного використання інформаційних масивів, математичних алгоритмів та способів зображення результатів, приводить до підвищення достовірності кінцевого результату).

На етапі створення запропонованої ГІС доцільно передбачити також можливість визначення ефективності її функціонування, зокрема щодо вирішення поставлених завдань. Вона визначається призначенням, результатами використання за призначенням та витратами на створення й експлуатацію.

Під час розроблення методів оцінки ефективності роботи ГІС моніторингу доцільно керуватися методологічними принципами, обґрунтованими в [1], які передбачають її з позицій системного підходу, зокрема, стосовно отримання не тільки загального показника, але й часткових оцінок, а також забезпечення гнучкості методик до зміни умов роботи ГІС. Це такі принципи:

- спадковості (передбачає доповнення актуальної інформації ретроспективною);

- системної відповідності (характеризує зв'язок екологічних факторів із техногенними та іншими природними факторами і використовуються при екологічних обстеженнях окремих природних об'єктів та населених пунктів);

- неперервності (дозволяє постійне оновлення інформаційного забезпечення моніторингу навколишнього середовища);

- послідовності (передбачає поетапний збір, систематизацію та аналіз інформації);

- репрезентативності (вимагає достовірно відобразити суттєві ознаки та властивості природних об'єктів, що досліджуються);

- масштабності (передбачає формування вимог до дотримання масштабу господарсько-економічної діяльності, складу та питомої ваги інформації, що необхідна для вирішення конкретних задач);

- економічності (полягає у відповідності ціни отримання інформації до загальної вартості розробки природоохоронних заходів для їхнього проведення).

За структурою (відповідно до техніко-технологічного боку) ГІС для вирішення задач моніторингу має складатися із програмної оболонки та інформаційного її насичення, заснованого на функціональних можливостях

програмного забезпечення, а також відповідних форматів даних, що воно підтримує (у т. ч. і обмінних).

Зважаючи на те, що відомості про стан, структуру, динаміку й охорону навколишнього середовища в цілому та його основних компонентів (атмосферного повітря, земельних, лісових, водних, мінеральних ресурсів, тваринного світу) є різноманітними і динамічними, то до інформаційного забезпечення ГІС доцільно поставити такі вимоги та необхідно:

- враховувати весь комплекс природних, соціальних та економічних характеристик об'єктів навколишнього середовища;
- додатково до даних натурних спостережень використовувати тематичні та спеціальні карти різного змісту і призначення;
- картографічні матеріали доповнювати статистичними, текстовими даними, що відображають статику і динаміку об'єктів і явищ, які представлені на картах;
- проводити періодичне оновлення інформаційного забезпечення ГІС із використанням матеріалів дистанційного зондування.

За архітектурою ГІС моніторингу повинна бути розподілена, що зумовлено не лише регіональним характером існуючої системи збору та накопичення інформації, а й існуючою структурою відповідних органів управління галузі. На державному рівні має бути створено головний центр обслуговування ГІС, з'єднаний із адміністратором НІГД [5], на регіональному – відповідно регіональний центр, які об'єднуються в єдину розгалужену мережу зі збору, накопиченню та видачі відповідних просторових даних через формування геопорталів. Можливе й доцільне також використання загальнодоступних баз даних моніторингу, наприклад [4], яка містить більше 40 джерел даних, понад 250 станцій спостережень моніторингу якості повітря або інших [12]. Для нормативної підтримки функціонування ГІС моніторингу необхідне використання відповідних нормативних документів [5, 6, 10].

Практичний рівень експлуатації ГІС моніторингу навколишнього середовища забезпечується теоретико-методологічним обґрунтуванням її проектування та розроблення і розглядається на прикладі створення картографічних моделей забруднення атмосферного повітря способом ізоліній, що є первинними оціночними геоображеннями, створюваними на основі інвентаризаційних показників, зафіксованих у пунктах спостережень, для прикладу, через екологічний чат-бот, який

поєднує дані про забруднення, забруднювачів та інструменти захисту довкілля [4].

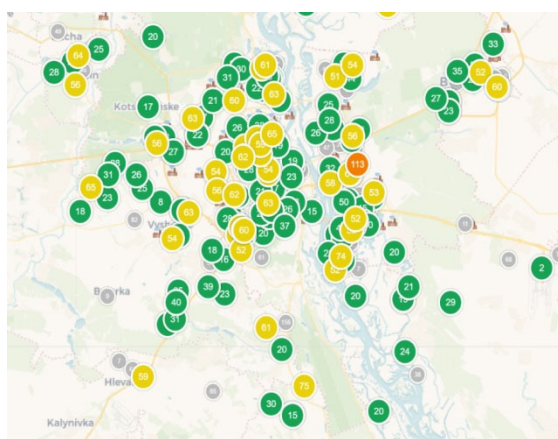
Інтегральний показник якості атмосферного повітря (з англ. Air Quality Index, AQI) розраховано на основі середніх значень концентрації забруднювальних речовин за певний період, які отримані з моніторингу довкілля в пунктах (точках) спостережень (числові значення вихідних показників містяться у загальнодоступній базі даних у форматі csv) або моделювання атмосферної дисперсії. Для цього разом узяті концентрація і час, що виступають дозою забруднювальних речовин в атмосферному повітрі території. У цьому показнику враховано дрібнодисперсні частинки РМ 2,5 (Particulate Matter, 2,5 м) як найбільш небезпечні для організму людини.

На існуючій інтерактивній карті [4] (констатаційного за функціональністю типу) відповідний показник картографування (AQI) подається не зовсім коректно через відсутність застосування розміру (як графічної змінної) локалізованих діаграм для показу кількісних відмінностей у значеннях. Але на створення первинних оціночних карт способом ізоліній це не впливає.

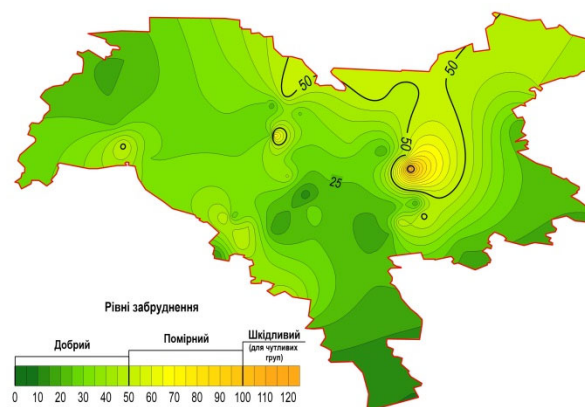
За форматами представлення зазначені моделі можуть бути растровими або векторними залежно від застосованих програмних можливостей ГІС. Їхнє створення базується на використанні, як правило, детермінованих (застосовують лише математичні залежності (функції) та / або геостатистичних (математичні та статистичні залежності)) методів інтерполяції. Найрозповсюдженішими, реалізованими, зокрема, у [11] є:

- метод обернено-зважених відстаней є детермінованим і передбачає, що кожна вхідна точка, яка бере участь в інтерполяції, має вплив, який зменшується при збільшенні відстані від точки виміру (спостереження);
- метод Кріге (названий за прізвищем південноафриканського інженера-геолога Д. Кріге) є геостатистичним і застосовується у випадках, коли відомо, що одержані в результаті спостережень та зафіксовані в базі дані корелюються за відстанню або за напрямом. Для визначення вихідного значення в кожній комірці (точці) метод Кріге підбирає математичну функцію, що проходить через усі точки в межах заданого радіуса або через задану кількість точок.

Результати створення картографічних моделей забруднення атмосферного повітря через індекс його якості (AQI РМ 2,5) у вигляді карти полів по місту Києву, створеної на основі використання методу інтерполяції Кріге (як найоптимальнішого у зв'язку з нерівномірністю розташування пунктів спостереження), подано на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Приклад картографічно візуалізованих вихідних моніторингових даних із [4] (а) та первинної оціночної картографічної моделі забруднення атмосферного повітря території м. Києва, створеної у ГІС за результатами геоінформаційного аналізу (б)

Первинні оціночні картографічні моделі, що створюються за усередненими показниками (за певний період) є динамічними, тому оновлення змісту (конфігурації ізоліній) відбувається в режимі зміни інтегральних показників у вихідній базі даних та формування усередненого показника індексу якості повітря. Загальна легенда у кольоровій шкалі складається із семи градацій із застосуванням ustalених тонів кольорів (сірого – дані застарілі або їх недостатньо для вираження рівня якості атмосферного повітря щодо його забруднення, градація є факультативною); зеленого (добрий рівень (значення AQI 0–50)); жовтого (помірний рівень (50–100)); оранжевого (шкідливий рівень (100–150)); червоного (шкідливий рівень (150–200)); фіолетового (дуже шкідливий рівень (200–300)); коричневого (небезпечний (понад 300)). Фактична легенда включатиме лише градації показників, які становлять зміст карти, і є також динамічною.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Обґрунтовано підхід до проведення загального геоінформаційного моніторингу навколишнього середовища зі створенням первинних оціночних картографічних моделей, що визначають його стан у цілому та за окремими компонентами. Для цього:

- сформульовано вимоги для врахування у процесі створення системи моніторингу довкілля на основі ГІС, які в цілому корелюються із завданнями ДСМД. Такими є: багаторівневність системи моніторингу, комплексність спостережень за станом і динамікою об'єктів природокористування, взаємна узгодженість різнорідних показників, залежність періодичності спостережень від розвитку природних та антропогенних процесів, системність спостережень із відпрацюванням методики прогнозування й моделювання, необхідність систематизації даних спостережень у базах даних ГІС;
- представлено та розкрито зміст методологічних принципів побудови системи моніторингу на основі ГІС, розподілених на дві групи: регламентних щодо створення і роботи ГІС моніторингу (об'єктивності, систематичності спостережень за станом довкілля, багаторівневності, узгодженості нормативного й методичного забезпечення, узгодженості програмного та технічного забезпечення, інтероперабельності, оперативності проходження інформації між окремими ланками системи, відкритості інформації для населення) та тих, що забезпечують стан необхідної інформації для використання її у ГІС (повноти інформації, достовірності, сучасності, комплексності в оцінці екологічної інформації, багатоваріантності представлення результатів);
- на етапі розроблення запропонованої ГІС застосовано принципи визначення ефективності її функціонування щодо можливості вирішення поставлених задач моніторингу (спадковості, системної відповідності, неперервності, послідовності, репрезентативності, масштабованості, економічності);
- визначено вимоги до інформаційного забезпечення ГІС моніторингу навколишнього середовища (врахування всього комплексу природних, соціальних та економічних характеристик об'єктів навколишнього середовища, використання тематичних і спеціальних карт різного змісту та призначення додатково до даних натурних спостережень, доповнення картографічних матеріалів статистичними, текстовими даними, що відображають статистику й динаміку об'єктів та явищ моніторингу, представлених на результуючих картах, проведення періодичного оновлення інформаційного забезпечення ГІС із використанням матеріалів дистанційного зондування), її структуру (блокову) та архітектуру (розподілену);
- представлено алгоритм моніторингу довкілля на основі ГІС зі створенням первинних результуючих картографічних моделей оціночного типу (на прикладі карт

полів забруднення атмосферного повітря за індексом AQI PM 2,5).

Перспективними напрямками досліджень є обґрунтування підходу до створення на основі ГІС моніторингових карт інших типів за функціональністю, а також за рівнем аналізу і синтезу явищ, які показуються на них (зокрема, синтетичних).

#### Список використаних джерел:

1. Бондаренко Е. Л. Геоінформаційне еколого-географічне картографування : монографія / Е. Бондаренко. – К. : Фітосоціоцентр, 2007. – 272 с.
2. Екологічний моніторинг в Україні: які дані відкрито [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2018/07/17/638718>.
3. Екологічний моніторинг довкілля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/content/ekologichniy-monitoring-dovkillya.html>.
4. Єдиний в Україні екологічний чат-бот [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://saveecobot.com>.
5. Про національну інфраструктуру геопросторових даних : Закон України від 13.04.2020 р., набув чинності з 1.01.2021 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/554-20>.
6. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України (ред. від 07.06.2020 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1264-12>.
7. Куссуль Н. М. Геоінформаційна інфраструктура моніторингу навколишнього середовища та надзвичайних ситуацій / Н. М. Куссуль, С. В. Скакун, А. Ю. Шелестов // Наука та інновації. – 2010. – Т. 6. – № 4. – С. 21–28.
8. Ляшенко А. Онтологія та особливості компонентів геоінформаційного моніторингу за технологією баз геопросторових даних / А. Ляшенко, І. Патракеєв // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – Вип. 1. – С. 174–177 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdgn\\_2015\\_1\\_42](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdgn_2015_1_42).
9. Мокін В. Б. Інформаційна технологія інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод : монографія / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, М. П. Боцула. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 152 с.
10. Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р., № 391 (ред. від 24.12.2019) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text>.
11. Програмне забезпечення ArcGIS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-interpolation-tools.htm>.
12. Air Quality Index [Electronic resource]. – Access mode: <https://aqicn.org>.

#### References

1. Bondarenko E. L. Geoinformatsiynne ekolooho-geografichne kartografuvannya. Monohrafiya. – Kyiv. : Fitosotsiotsentr, 2007. – 272 s.
2. Ekologichnyi monitorynh v Ukraini: yakі dani vidkryto [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.epravda.com.ua/columns/2018/07/17/638718>.
3. Ekologichnyi monitorynh dovkillya [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://menr.gov.ua/content/ekologichniy-monitoring-dovkillya.html>.
4. EdyniyvUkrainiekolohichnychat-bot [Elektronnyiresurs]. – Rezhymdostupu: <https://saveecobot.com>.
5. Pro natsionalnu infrastrukturu geoprostorovykh danykh : Zakon Ukrainy (pryniyato Verhovnou Radoyu 13.04.2020, vvodytsya v diyuz 1.01.2021 r.) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/554-20>.
6. Pro ohoronu navkolyshnyoho pryrodnoho seredovyschcha : Zakon Ukrainy (Redaktsiya vid 07.06.2020 r.) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1264-12>.
7. Kussul N. M. Geoinformatsiyna infrastruktura monitorynhu navkolyshnyoho serdovyschcha ta nadzvychainykh sytuatsiy / N. M. Kussul, S. V. Skakun, A. Yu. Shelestov // Nauka ta innovatsii. – 2010. – T. 6. – № 4. – S. 21–28.
8. Lyashchenko A. Ontologiya ta osoblyvosti komponentiv geoinformatsiynoho monitorynhu za tekhnologiyu baz geoprostorovykh danykh / A. Lyashchenko, I. Patrakeev // Suchasni dosyahnennya geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2015. – Vyp. 1. – S. 174–177 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdgn\\_2015\\_1\\_42](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdgn_2015_1_42).
9. Mokin V. B. Informatsiyna tekhnolohiya intehruvannya matematychnykh modeley u geoinformatsiyni systemy monitorynhu poverkhnelykh vod : monohrafiya / V. B. Mokin, E. M. Kryzhanovskiy, M. P. Botsula. – Vinnutsya : VNTU, 2011. – 152 s.
10. Polozhennya pro derzhvnu system monitorynhu dovkillya : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 bereznya 1998 roku, № 391 (redaktsiya vid 24.12.2019 r.) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text>.
11. Programne zabezpechennya ArcGIS [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-interpolation-tools.htm>.
12. Air Quality Index [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://aqicn.org>.

Э. Бондаренко, д-р геогр. наук, проф.,

О. Яценко, ассист.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

### ГИС ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Предложен методический подход к проведению общего (стандартного) мониторинга окружающей среды на основе функциональных возможностей географических информационных систем (ГИС). Он заключается в теоретико-методологическом обосновании алгоритма создания первичных оценочных картографических моделей, определяющих состояние окружающей среды в целом и по отдельным компонентам.*

*Авторы сформулировали требования для создания системы геоинформационного мониторинга окружающей среды, которые в целом коррелируют с задачами государственной системы мониторинга окружающей среды. Таковыми являются: многоуровневость системы мониторинга, комплексность наблюдений за состоянием и динамикой объектов природопользования, взаимная согласованность разнородных показателей, зависимость периодичности наблюдений от развития природных и антропогенных процессов, системность наблюдений с обработкой методики прогнозирования и моделирования, необходимость систематизации данных наблюдений в базах данных ГИС.*

*Авторам представлены группы методологических принципов построения системы мониторинга на основе ГИС и раскрыто их содержание. Регламентными принципами по созданию и работе ГИС мониторинга есть принципы: объективности, систематичности наблюдений за состоянием окружающей среды, многоуровневости, согласованности нормативного и методического обеспечения, согласованности программного и технического обеспечения, интероперабельности, оперативности прохождения информации между отдельными звеньями системы, открытости информации для населения. К принципам, которые обеспечивают состояние необходимой информации для использования её в ГИС, отнесены принципы: полноты информации, достоверности, современности, комплексности в оценке экологической информации, многовариантности представления результатов.*

*Обоснованы требования к информационному обеспечению ГИС мониторинга окружающей среды. Главными из них являются: учет всего комплекса природных, социальных и экономических характеристик объектов окружающей среды; необходимость использования тематических и специальных карт разного содержания и назначения вместе с данными натурных наблюдений; дополнение картографических материалов статистическими, текстовыми данными, отражающими статику, а также динамику объектов и явлений мониторинга, представленных на результирующих картах; проведение периодического обновления информационного обеспечения ГИС с использованием материалов дистанционного зондирования. Предложенная ГИС мониторинга окружающей среды имеет блочную структуру и распределенную архитектуру.*

*Алгоритм мониторинга окружающей среды на основе ГИС реализован на примере создания первичных результирующих картографических моделей оценочного типа – карт полей загрязнения атмосферного воздуха по индексу качества атмосферного воздуха AQI PM 2.5.*

*Ключевые слова: географическая информационная система, ГИС, мониторинг, окружающая среда, оценочные картографические модели, база данных, методологические принципы, информационное обеспечение, индекс качества атмосферного воздуха.*

E. Bondarenko, DSc Geography, Professor,

O. Yatsenko, Assistant

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

### GIS IN ENVIRONMENTAL MONITORING TASKS

*The article proposes a methodological approach to general (standard) environmental monitoring based on the functionality of geographic information systems (GIS). It consists in the theoretical and methodological substantiation of the algorithm for the creation of primary assessment cartographic models that determine the state of the environment as a whole and for individual components.*

*The authors formulated requirements for creating a system of geoinformation monitoring of the environment, which generally correlate with the tasks of the state system of environmental monitoring. These are: the multilevel nature of the monitoring system, the complexity of observations of the state and dynamics of environmental management objects, the mutual consistency of heterogeneous indicators, the dependence of the observation frequency on the development of natural and anthropogenic processes, the consistency of observations with the development of forecasting and modeling techniques, the need to systematize observation data in GIS databases.*

*The authors presented a group of methodological principles for constructing a monitoring system based on GIS and disclosed their content. The regulatory principles for the creation and operation of GIS monitoring are the following principles: objectivity, systematic observation of the state of the environment, multilevel, consistency of regulatory and methodological support, consistency of software and hardware, interoperability, efficiency of information passing between individual links of the system, openness of information for the population. The principles that ensure the state of the necessary information for its use in GIS include the principles: completeness of information, reliability, modernity, complexity in the assessment of environmental information, multivariate presentation of results.*

*The article also defines the requirements for the information support of GIS environmental monitoring. These are: taking into account the entire complex of natural, social and economic characteristics of environmental objects; the need to use thematic and special maps of different content and purpose in addition to field observations; supplementing cartographic materials with statistical, textual data reflecting the statics and dynamics of objects and monitoring phenomena, presented on the resulting maps; periodic updating of GIS information support using remote sensing materials. GIS monitoring by structure is block with a distributed architecture.*

*The GIS-based environmental monitoring algorithm is implemented on the example of creating primary resulting cartographic models of the estimated type – maps of atmospheric air pollution fields according to the atmospheric air quality index AQI PM 2.5.*

*Keywords: geographic information system, GIS, monitoring, environment, estimated cartographic models, database, methodological principles, information support, air quality index.*