

## КАРТОГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
[dei2005@ukr.net](mailto:dei2005@ukr.net)

Висвітлена методика розроблення системи карт, що застосовуються в системі державного управління у сфері екологічної безпеки та реалізації програм захисту довкілля. Карти прокласифіковані за масштабом, призначенням та функціональним забезпеченням тематичного навантаження та змістовного наповнення. Вперше визначений широтно-довготний аспект використання відповідних карт, а також топографічні особливості їх застосування безпосередньо під час рекогносрування.

Обґрунтований проєкт геоінтелектуальної системи прийняття екологічних рішень у системі обсерваційного екологічного моніторингу довкілля-простору м. Києва. Розроблена структурно-функціональна модель програми геоінформаційного забезпечення. Технологія картографічного моделювання та прогнозування є гібридом геоінформаційних, навігаційно-геодезичних, картографо-геоматичних технологічних засобів реєстрації та ідентифікації потенційно-небезпечних процесів, явищ у суцільному (відкритому) та закритому (дискретному) середовищах.

Основою розробленої геоінтелектуальної моделі є програми автоматизованого координування об'єктів критичної інфраструктури: підприємств із базами СДОР (сильнодіючих отруйних речовин), виробництв, що використовують ядерну енергетику, зазначаються викиди від транспортних засобів логістичних хабів тощо). Відображені структурно-параметричні схеми формування спеціальних баз даних, процедури формування картографічних банків даних умовних позначень об'єктів, що певною мірою, потенційно-небезпечні для населення м. Києва.

Розроблений алгоритм автоматизованого прийняття екологічних рішень, що моделює поточну геоінформацію, отримувану із супутникових, наземних та інших стаціонарних (статичних), динамічних та кінематичних систем оцінки впливу на довкілля. Зазначена першочерговість алгоритмічної обробки даних в системі модулів управління надзвичайною ситуацією на відповідних промислових територіях м. Києва. Укладена та представлена карта критичної інфраструктури м. Києва.

Зазначено, що функціональне застосування систем геоінформаційного картографування об'єктів критичної інфраструктури є складовою управлінської системи попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, яка успішно апробована у сфері екологічного моніторингу на загальноміському рівні. *Ключові слова:* карта природно-техногенної безпеки, управління у сфері екологічної безпеки, ландмарк, картографічна модель, ГІС-технології, геоінтелектуальна система.

### **Cartogeoinformation support of management in the field of environmental safety and implementation of environmental protection programs. Finin G., Shevchenko R.**

The article reveals the method of developing a system of maps used in the system of public administration in the field of environmental safety and in the implementation of environmental protection programs. Classified maps by scale, purpose and functionality of thematic load and content. For the first time the latitudinal aspect of the use of relevant maps is mentioned, as well as the topographic features of their use directly during reconnaissance.

The project of the geointelligent system of ecological decision-making in the system of observational ecological monitoring of the environment-space of Kyiv is substantiated. A structural and functional model of the geoinformation support program has been developed. The technology of cartographic modeling and forecasting is a hybrid of geoinformation, navigation and geodetic, cartographic and geomatic technological means of registration and identification of potentially dangerous processes, phenomena in continuous (open) and closed (discrete) environments.

The basis of the developed geointelligent model are programs of automated coordination of critical infrastructure facilities: enterprises with bases of HTS (highly toxic substances), enterprises that use nuclear energy, emissions from vehicles of logistics hubs, etc.). Structural and parametric schemes of formation of special databases, procedures of formation of cartographic data banks of symbols of objects that pose a potential danger to the population of Kyiv are shown.

The language of automated environmental decision-making has been developed, which simulates current geoinformation obtained from satellite, terrestrial and other stationary (static), dynamic and kinematic systems of environmental impact assessment. The priority of algorithmic data processing in the system of emergency management modules in the relevant industrial areas of Kyiv is indicated. The map of critical infrastructure of Kyiv is concluded and presented.

The paper notes that the functional application of geographic information mapping systems of critical infrastructure is part of the management system for the prevention of emergencies of natural and man-made nature. It has been tested in the field of environmental monitoring at the city level. *Key words:* map of natural and man-caused safety, management in the field of ecological safety, landmark, cartographic model, GIS-technologies, geointelligent system.

**Постановка проблеми.** Відомості про стан природно-техногенної безпеки, які відображаються на цифрових тематичних картах із різночасовим доповненням в середовищі геоінформаційних систем оновлюються перманентно. Це призводить до необхідності комплексного їх використання в управлінні

в сфері екологічної безпеки. При цьому може бути отримана вся просторова база даних та відповідний обсяг геоінформації, необхідний для реалізації програм захисту довкілля.

Картогеоінформаційне забезпечення призначене для автоматизованого розв'язання задач визначення координат потенційно-небезпечних об'єктів навколишнього природного середовища, прогнозування масштабів розповсюдження сильнодіючих отруйних або радіоактивних речовин, визначення ареалів патогенного впливу на довкілля. Цифрові карти в системі екологічної безпеки знаходять своє практичне застосування для загального вивчення району надзвичайної ситуації природного та техногенного характеру, отримання загально-топографічного, гідрографічного, геолого-геоморфологічного уявлення про локалізацію небезпечних явищ, а також для вирішення прикладних інженерно-геодезичних завдань, пов'язаних із сталим розвитком територій [1].

**Актуальність дослідження.** Важливою складовою картогеоінформаційних систем у забезпеченні екологічної безпеки є геопросторові дані, що доповнюють еколого-топографічні карти. У поєднанні із даними технологій Близького Космосу (Космосфери) при створенні цифрових ортофотопланів територій, дозволяють використати оптимальну методику запобігання або подолання екологічних катастроф. У системі управління реалізації програм екологічної безпеки відповідні дослідження є найбільш затребуваними, зважаючи на всеохоплюючу діджиталізацію країни.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Наукові дослідження реалізовані в рамках виконання п. 2 «Пріоритетних напрямків роботи Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Мінекодовкілля на 2021–2025 рр.» (<http://dea.edu.ua/img/source>).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Геоінформаційні основи картографічного забезпечення програм природоохоронного змісту фундаментально обґрунтовані в наукових працях акад. Руденка Л. Г. (Інститут географії НАН України) [2], проф. Пересадько В. А. (Харківський університет), проф. Шищенко П. Г. та Гавриленко О. П. (Київський університет). Ними сформульовані методики картосеміотичних програм авторського ескізування картографічних моделей. Наукову школу інженерно-екологічного ГІС-картографування формує Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління та її провідні вчені: професори Бондар О. І., Білявський Г. О., Рудько Г. І.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття.** Не розв'язаною залишається проблема науково-методологічного обґрунтування використання цифрових карт та атласів у системі державного управління у сфері екологічної безпеки в кра-

їні, а також під час дослідження міст-мільйонників. В процесі дослідження необхідною на сьогодні постає задача класифікації карт, що використовуються в системі управління у сфері екологічної безпеки та під час реалізації програм збалансованого природокористування й захисту довкілля.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Картографо-геоінформаційні технології захисту навколишнього природного середовища є універсальними при візуалізації просторових явищ суцільного та дискретного (локального) розповсюдження. Тому одним із важливих наукових завдань даного дослідження є обґрунтування технології спеціального автоматизованого програмування масштабних рядів, практичне застосування карт-моделей у природоохоронній справі, розв'язання прикладних задач різномасштабного державного управління екологічною безпекою.

В результаті апробації алгоритмів обґрунтовано застосування експериментальної GIS/GPS-геоінтелектуальної системи моніторингу довкілля м. Києва, що є оболонкою-ядром акумуляції геопросторових баз даних із семантичним алгоритмом укладання тематичних моніторингових карт стану довкілля міста.

**Викладення основного матеріалу.** Карти забезпечення системи екологічної безпеки держави поділяються на три основні групи: *маршрутно-навігаційні, спеціальні тематичні природно-техногенної ситуації, довідково-інформаційні (допоміжні)*.

Зміст таких карт має математичну основу (картографічну проєкцію, геодезичну основу, мірило), загально-географічне та еколого-специфічне навантаження та елементи електронного оформлення.

Аналітичний спосіб програмування зазначених параметрів картогеоінформаційних моделей задається рівняннями, що дозволяють за координатами зображувального пікселя даних, які спроектовані на еліпсоїд, автоматично обчислювати координати на площині в проєкції топографічних карт Гаусса-Крюгера. Передбачене застосування геометричного алгоритму проєктування, що складається із опцій автоматичного відображення виду меридіанів та паралелей на цифровій карті та їх відносне розташування.

Під час розкладення відповідних масштабних рядів карт на підземні геотерії, наземні території, акваторії, аеротерії та космосферу, за геодезичну основу беруться картографічні сітки прямокутної системи координування об'єктів. На практиці присутні значні розходження геодезичних основ для зазначених сфер географічної оболонки, насамперед, в координатах одних й тих точок на різноманітних картах. Перехід або перенос точки з одного тематичного шару карти на інший під час рекогноситування неподалік берегів високих широт, необхідно здійснювати за астрономічним азимутом. Треба враховувати відстані до точних орієнтирів-домінантів

(ландмарів) на березі акваторії безпосередньо під час руху експедиційної партії.

Під час екологічного рекогносрування на акваторіях переходити з одного тематичного шару на інший за координатами можна тільки при проходженні пікетажного журналу подалі від суходолу.

Мірило карт природно-техногенної безпеки обирається в залежності від їх призначення, навігаційно-географічних особливостей та ступеня вивченості місцевості. Стандартним масштабним рядом для цифрових карт та планів при управлінні в сфері екологічної безпеки та забезпеченні реалізації програм захисту довкілля є: 1 : 500, 1 : 1000 – 1 : 5000, 1 : 7500, 1 : 10 000, 1 : 15 000, 1 : 20 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000 – 1 : 5 000 000, 1 : 10 000 000, 1 : 20 000 000, 1 : 50 000 000. За мірило карт беруться масштабні ряди спеціально створюваних моделей. При цьому масштабом окремо взятої тематичної карти є математичне співвідношення параметрів простору до її моделі на конкретно визначену територію.

*Електронні карти-сітки*, що покривають води Світового океану за широтними поясами укладаються у мірілі 1 : 250 000 та 1 : 500 000. Для декількох широтних (фізико-географічних та кліматичних) поясів – укладаються у мірілі 1 : 100 000.

В залежності від мірила та призначення на цифрових картах системи екологічної безпеки із різною повнотою та деталізацією відображаються: берегова лінія та її види, гідрографія суходолу (ріки, озера, канкали), рельєф суходолу, населенні пункти та комунікації дорожньої інфраструктури, рельєф дна гідрографічних об'єктів (глибини та ізобати), навігаційні небезпеки та донні ґрунти, критична інфраструктура територій, ландмарки, навігаційні орієнтири та засоби топографічного навігаційного обладнання, відомості про припливи та відпливи, заборонені зони та небезпечні райони, фарватери, аеролінії, морські канали, рекомендовані курси еколого-рекогносрувальних маршрутів, елементи спеціального змістовного навантаження для службового використання, сітка ізоліній для визначення місця за допомогою радіогеодезичних систем, специфічні написи та елементи дизайнерського оформлення цифрової карти.

За своїм призначенням карти системи екологічної безпеки та управління поділяються на наступні підгрупи: *акваторіальні карти природно-техногенної безпеки, астрономо-геодезичні карти планово-висотних мереж території критичної інфраструктури, карти природно-техногенних небезпек, карти техногенного навантаження на гідросферу.*

*Акваторіальні карти природно-техногенної безпеки* укладаються на райони, які розташовані у лімітах широт від 0 до 85 градусів північної та південної широти. Математичною основою карт є нормальна проєкція голандського картографа Меркатора

Герарда, а на високі приполярні території – поперечна проєкція його розроблення.

В залежності від масштабу акваторіальні карти природно-техногенної безпеки поділяються на *генеральні, рекогносрувальні, інженерно-прикладні та плани-абрис.*

*Генеральні карти акваторіальних природно-техногенних небезпек* укладаються в мірилах 1 : 1 000 000 – 1 : 5 000 000. Вони використовуються для загального орієнтування при виборі маршруту еколого-рекогносрувальної експедиції під час руху на транспортному засобі. В деяких випадках вони можуть бути використані для автоматизованого розв'язання задач високоточного астрономо-геодезичного координування на місцевості під час несприятливих метеорологічних умов у відкритих ділянках акваторій.

*Рекогносрувальні карти природно-техногенної безпеки* укладаються у мірилах 1 : 100 000 – 1 : 500 000. Вони забезпечують навігаційну безпеку при доекспедиційного прокладання маршруту еколого-моніторингового рекогносрування місцевості та розв'язання прикладних задач координування потенційно-небезпечних локацій уздовж узбережжя водосховищ, а також підходів та перевалів через території висотної поясності.

*Інженерно-прикладні карти природно-техногенної безпеки* укладаються у мірильному ряді 1 : 25 000 – 1 : 50 000. Їх призначення полягає у забезпеченні природно-техногенної безпеки при реалізації експедиційних досліджень.

*Плани-абрис природно-техногенної безпеки* укладаються у мірильному ряді 1 : 500 – 1 : 25 000 та призначені для прийняття оперативних управлінських рішень та забезпечення реалізації пікетажного маршруту на рівнинних територіях. Відповідні плани-абрис складаються окремо в середовищі ГІС у вигляді візок також у тематичному змісті рекогносрувальних та інженерно-прикладних карт.

*Астрономо-геодезичні карти планово-висотних мереж території критичної інфраструктури* – це спеціальні інженерно-топографічні карти із додатковими тематичними шарами у вигляді сіток ізоліній, а також різноманітних корегувальних величин та пояснень до них, які необхідні для визначення місцеположення за допомогою астрономо-геодезичних методів та супутникових технологій.

*Карты природно-техногенних небезпек* – геоінформаційні моделі генералізованих топографічних, гідрографічних, аероторних та космофотозображень на які у окремому векторному тематичному шарі виводяться наступні оверлейни: небезпечні ділянки вулканічної активності морського дна, несприятливі синоптичні та клімато-метеорологічні умови, тектонічні розломи та геологічні аномалії, сітки квадратів, відомості про стан критичної інфраструктури, промислові характеристики



території, сітка ізоліній для визначення координат за допомогою радіогеодезичних систем та інші спеціалізовані зведені просторові дані [2].

*Карти техногенного навантаження на гідросферу* призначені для забезпечення визначення ареалів викидів антропогенного та біогенного забруднення поверхневих вод річок, каналів, водосховищ. Укладаються у мірному ряді діапазону 1 : 5 000 – 1 : 50 000.

*Спеціальні карти управління у сфері екологічної безпеки* поділяються на оглядові та інформаційно-управлінські.

Оглядові та інформаційно-управлінські карти укладаються на основі *бланкових карт*, на яких позначені лише найбільш узагальнені елементи загально-екологічного навантаження (берегова лінія, важливі шляхи сполучення, адміністративні та промислові центри, ландмарки, мережа геодезичних та астрономо-геодезичних знаків та пунктів радіогеодезичної системи визначення координат, державні кордони та адміністративні межі). Відповідний ряд геопросторових даних формує основу геоінформаційного простору, яка є основою для формулювання різних управлінських програм. Наприклад, на *картах патогенних ґрунтів* розміщуються дані про розподіл донних відкладень, «геологічних вікон» та їх просторова-часова характеристика динаміки явищ. На *картах аномалій земного магнетизму* демонструються лінії рівних значень іоносферних збурень, гравітаційних аномалій, гравіметричні пункти спостережень. На *картах радіогеодезичних систем*, що укладаються у дрібному мірному ряді, додаються зведені просторові дані про локалізацію станцій GPS-спостереження, астрономічні, геофізичні та гравіметричні обсерваторії. Показуються дестинації їх моніторингової дії (охоплення) та лінії рів-

них точностей визначення природно-техногенних явищ та об'єктів.

До оглядових відносять геопортали, як спеціальні картографічні ресурси інтернету із накопичення спеціальної геопросторової інформації. На рис. 1 представлений скріншот геопорталу інфраструктури екологічних обсерваційних ландмарків м. Києва (геодезична мережа столиці).

До числа *допоміжних карт системи екологічної безпеки* відносять *ортометричні карти промислових майданчиків*. Вони укладаються у гномонічній проєкції та призначені для розв'язання задач, пов'язаних із прокладанням дуг великих кіл ймовірності виникнення надзвичайної ситуації природного та техногенного характеру.

*Карти-сітки реалізації програм захисту довкілля* призначені для автоматизованого геоінтелектуального розв'язання прикладних задач прогнозування надзвичайних ситуацій в районах, які не охоплені великомасштабними картами. Вони представляють собою картографічну основу із сіткою паралелей та меридіанів загально-топографічних карт. На них оцифровані тільки широтні та довготні бокові рамки, додаються контурні значення часового виконання (реалізації) природоохоронних заходів.

На практиці картогеоінформаційне забезпечення управління в сфері екологічної безпеки та реалізації програм захисту довкілля знайшло втілення в *інформаційно-аналітичній системі ГІС & GPS/GNSS-обсерваційного екологічного моніторингу м. Києва*, яка складена на основі програмних модулів фірм ESRI та MicroStation. Це спеціалізована геоінформаційна система узагальнення систематизації та оперативного прийняття екологічних рішень у галузі геоінформаційного картографування природно-територіального комплексу м. Києва. В основу покла-

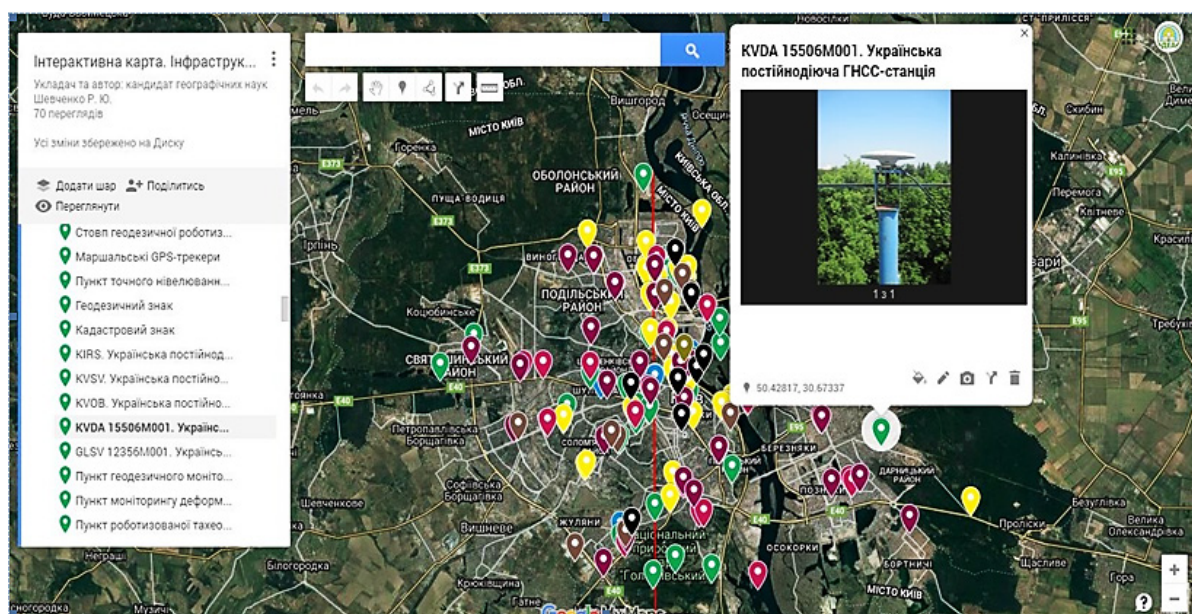


Рис. 1. Інтерфейс геопорталу ландмарків м. Києва

дено результати проведеного польового моніторингу м. Києва протягом 2020–2021 рр. Складений геоінформаційний реєстр критичної антропогенної інфраструктури та небезпечних природно-територіальних комплексів м. Києва.

Оцінка стану *природно-територіальних комплексів* покладена в основу відповідної бази даних *екогеоінформаційної системи*. Модулі системи формують банки даних факторів забруднення навколишнього середовища в межах контуру досліджуваного полігону природно-антропогенного (промислового) району обсерваційного екологічного моніторингу.

Визначеним мірилом екогеоінформаційних моделей (векторних цифрових екологічних карт довкілля-простору) є 1 : 25 000 та 1 : 500 – 1 : 10 000 для окремих урочищ та ландшафтів. Цей ряд масштабних перетворень необхідний для оперативного виявлення джерел забруднення навколо підприємств, оповіщення відповідних аварійно-рятувальних служб для прийняття рішень по їх ліквідації, а також оповіщення населення про безпеку та загрозу для здоров'я.

Відповідна інформація розміщується у відкритих (публічних) картографічних ресурсах та сервісах – геопорталах Інтернету: Google Earth, Google Map, OpenStreetMap, Wikimapia, Mapillary а також на громадських (інформаційно-довідкових) картографічних зображеннях у відкритих та закритих просторах.

*Експертна ГІС стану навколишнього середовища* – це програмний комплекс, який є головним геоінформаційним картографічним інструментарієм, що визначає та призначає зміст, методи створення при трасуванні алгоритмів ГІС-досліджень стану, довгострокового прогнозу та моніторингу навколишнього природного середовища м. Києва.

Досвід показує, що при комплексному математичному моделюванні матеріалів ГІС-досліджень із застосуванням сплайн-функцій, математичного та геометричного програмування та залученні даних аерокосмічної зйомки, виявляються нові, невідомі раніше дані про природні ресурси, довкілля, зовнішнє (відкрите) та функціональне (закрите) навколишнє середовище довкілля-простору. Наприклад, геогліфічний антропоморфний образ на космічному знімку м. Києва.

Прикладами застосування ГІС-технологій у картографуванні природно-територіальних комплексів на міському рівні є розроблені *електронні карти небезпечної інфраструктури м. Києва*. Одним з аспектів розробки наукових основ системного обсерваційного картографування довкілля-простору є пошук шляхів створення спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи ГІС & GPS/GNSS-обсерваційного екологічного моніторингу м. Києва для забезпечення шляхів систематизації та узагальнення геоінформаційної бази даних про природно-територіальний комплекс міста.

Головною функцією спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи ГІС & GPS/GNSS

(Global Navigation Satellite Systems)-обсерваційного екологічного моніторингу довкілля-простору м. Києва є оперативність пошуку об'єктів критичної інфраструктури за багатьма характеристиками: адреса, назва споруди, інженерно-конструктивний стан (характеристика) споруди, топонімічна приналежність.

ГІС має традиційні блоки банків і баз даних: топографо-геодезичну інформацію (топографічна основа, аеро- і космічні знімки); геотегінг, кеокешинг; тематичні карти проблемної та покомпонентної спрямованості; цифрову (табличну) статистичну інформацію; додаткову інформацію у вигляді графіків, схем, фото- і відеозображення).

Окрім того, застосовуються алгоритми картографування новозбудованих об'єктів критичної інфраструктури у різноманітних варіаціях у залежності від зміни того чи іншого параметра. Такі алгоритми побудовані на основі принципу експертного програмування екологічної обсерваційної карти (рис. 2).

Основними вимогами щодо програмних засобів, покладених в основу формування ГІС, є модульність, відкритість і повна сумісність з іншими програмними продуктами. Програмне забезпечення ГІС обсерваційного екологічного моніторингу довкілля-простору м. Києва – це інтегроване програмне середовище уніфікованих форматів даних, користувачького інтерфейсу і стандартних прикладних програмних засобів.

Модулі геоінформаційної системи здійснюють: визначення картометричних параметрів географічного розташування об'єктів критичної інфраструктури та залежності між об'єктами; різноманітні викиди відпрацьованих елементів у геосферу, що досліджуються; оперативне картографування новозбудованих димарів та відстійників, несанкціонованих врзок до дощової каналізації, а також таких, що проєктуються та будуються.

ГІС має набір «вмонтованих» алгоритмів, які дозволяють вирішувати всі перераховані вище задачі, тобто встановлювати не лише інформаційно-консультаційні характеристики об'єктів критичної інфраструктури, оперативно визначати функціональні особливості, а також мають змогу оперативного картографування позаштатних ситуацій (рис. 3).

У будь-якій ГІС, розробка системи екологічного моніторингу починається з формування банків і баз даних. Відомо, що більшість просторових і непросторових атрибутивних даних зберігається в реляційних базах даних, що не завжди відповідає сучасним вимогам географічного аналізу. У ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва використовуються об'ємно орієнтовані банки даних та розширені реляційні системи підтримки баз даних. Це забезпечує перехід від механічного зберігання та візуалізації даних до сценаріїв підтримки прийняття рішень (рис. 4).

Функціонування динамічних моделей вимагає, щоб відношення попередньо визначеного набору геопросторових даних накопичувалися в оперативному режимі. Принципову можливість цього підходу забезпечує парадигма об'єктно-орієнтованого програмування та інтерфейс прикладного програмування бази даних. Об'єкти, що мають атрибутивні дані, можуть взаємодіяти між собою й зберігати результати для подальшого використання.

Структура баз даних (БД) ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва має три структурні інформаційно-функціональні групи:

– джерела даних моделей статичної складової, основним призначенням яких є формування пред-

метних БД інформаційного обслуговування структур виконавчої влади м. Києва (КМДА), підтримка прийняття рішень і вирішення всіх функціональних задач системи;

– методи й засоби реалізації інформаційного забезпечення, що зосереджені в основних видах забезпечення функціонування системи алгоритмів побудови картографічного зображення: організаційному, технічному, математичному, програмному;

– інформаційна база системи обслуговування районного й загальноміського рівнів, що складається з необхідної кількості предметних БД, та мають картографічну, текстову й алфавітно-цифрову (табличну) інформацію [3].



Рис. 2. Графічна модель програми організації проєктних робіт із складання обсерваційної екологічної карти м. Києва



Рис. 3. Перетворення баз даних у ГІС-обсерваційного екологічного моніторингу



Структура баз даних у територіальному та змістовному аспектах імітує структуру комплексу критичної інфраструктури м. Києва.

Система управління базами даних (СУБД) ГІС є гнучкою, орієнтованою на змогу використання інформації, що поступає з інших ГІС, сформованих за допомогою іншого програмного забезпечення (рис. 5).

При формуванні комплексної бази даних об'єктів критичної інфраструктури м. Києва постає необхідність створення баз, у яких містяться дані, включаючи географічні співвідношення.

У програмних продуктах попередніх поколінь географічні відомості, як правило, зберігалися в графічних файлах. Відповідна технологія використовується й у даній ГІС. Однак у ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва ця опція відрізняється тим, що за її допомогою проводяться досить складні перетворення даних у процесі трансформації проєкції. При зміні системи координат, такі дані, зазвичай, представлені у різних системах координат від умовної до геодезичної, отримані з різних джерел обсерваційного моніторингу [4].



Рис. 4. Сценарій оброблення даних геоінформації при картографуванні

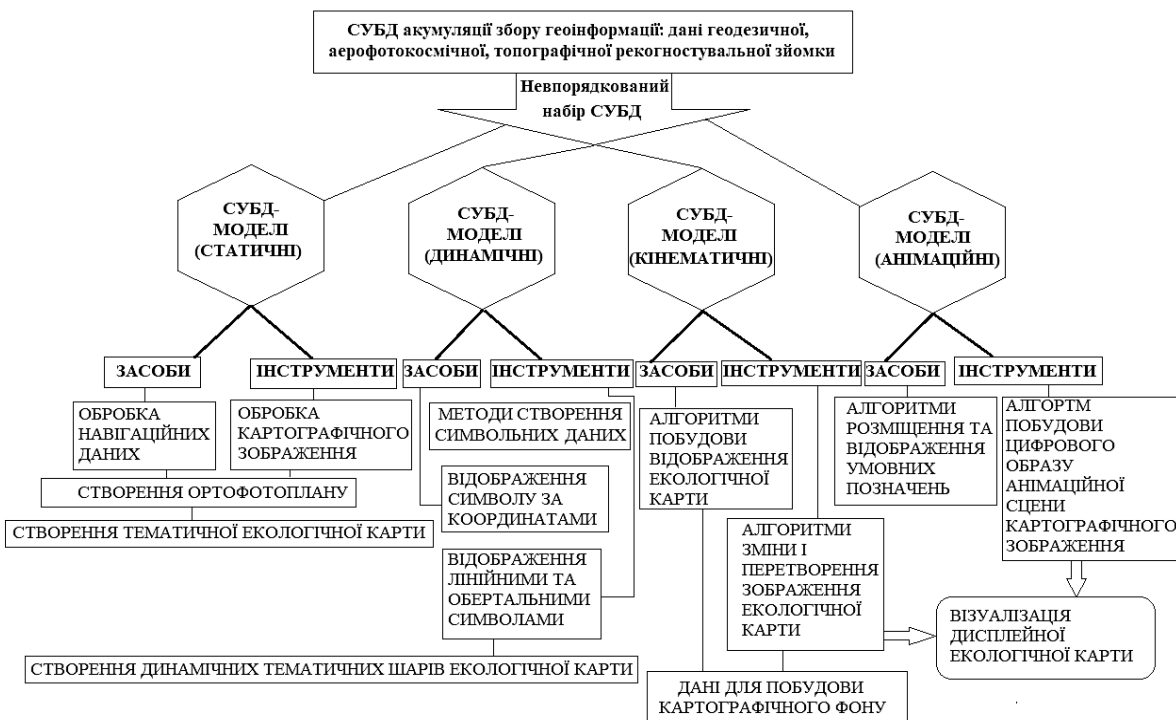


Рис. 5. Алгоритм формування СУБД екологічної карти та її ГІС-архітектура

У пошуку конкретного об'єкту критичної інфраструктури м. Києва в ГІС використовується гнучка система запитів. Принцип гнучкості доповнюється застосуванням алгоритму структурованих запитів. Для створення й виконання таких запитів перетворень даних та їх представлення застосовуються реляційні бази даних. Їхня перевага у тому, що дані структуровані у вигляді таблиць не залежать від програмних додатків. Також можна використовувати прості непроцедурні опції запитів.

Реляційна база даних ГІС широко використовуються лише для збереження атрибутивної інформації. Географічні властивості об'єктів критичної інфраструктури зберігаються у внутрішній структурі бази даних. Вперше збереження атрибутів та їх географічних властивостей у таблицях було проведено в базах даних програмного продукту компанії Intergraph. Відомості про географічні характеристики також містяться в атрибутивних таблицях програмних продуктів фірми ESRI.

Принцип багаторівневості архітектури ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва передбачає можливість використання незалежних функцій програмного додатку зовнішніх баз даних. Імпорт та експорт даних здійснює спеціалізоване програмне забезпечення (рис. 6).

Модульна структура ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва передбачає наявність базового програмного пакету, який називається «ядром» ГІС,

що керує відображенням шарів карти об'єктів критичної інфраструктури м. Києва (рис. 7).

У робочому просторі ГІС зберігаються результати запитів. Оскільки сам запит є реляційною базою даних, за результатами роботи можна обмінятися даними з іншими користувачами в мережі Інтернет, або зберегти їх в основній реляційній базі.

Під час створення геоінформаційної бази даних об'єктів критичної інфраструктури м. Києва застосовуються:

- спеціалізовані картографічні програми, що входять до складу програмно-апаратних картографічних комплексів, призначених для картографічних виробництв;
- картографічні блоки геоінформаційних систем (ArcView, MapInfo, AutoCAD, ArchiCAD);
- векторні та растрові графічні програми загального призначення (Adobe Illustrator, Macromedia, Adobe Photoshop) [5].

У формуванні ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва застосовувалися системи автоматизованого геомодельовання. Це дозволило самостійно створювати картографічні зображення. Проте ефективно сприйняття таких зображень залежить від розуміння користувачем картографічних символів (способів картографічного зображення). Набір картографічних символів має бути зрозумілим кожному користувачеві, без різного тлумачення змісту символів, а сам набір має бути «відкритим», тобто мати здатність розширюватися та модернізуватися.



Рис. 6. Послідовність технології формування реляційної бази даних ГІС



Геоінформаційний банк даних обсерваційного екологічного рекогносциувального моніторингу довкілля-простору м. Києва відображає інформацію в цифровій формі про об'єкти, що вміщує відомості про місце їх розташування та властивості, їх просторові та непросторові атрибути.

Технологія створення цифрових карт у ГІС обсерваційного екологічного рекогносциувального моніторингу довкілля-простору м. Києва визначається затвердженими на загальнодержавному рівні, узгодженими, професійно складеними інструкціями й технічними завданнями. При цьому враховується складність і неоднозначність інтеграції даних, що відображаються на карті поза масштабними та оригінальними умовними знаками. Це не призводить до помилок у цифрових картах та актуальності змісту використання як джерел інформації. Так, на комплексній оціночній карті якості життя населення м. Києва використовується механізм знакової комбінаторики у застосуванні способу арелів, масштабних та позамасштабних позначень, що в сукупності підвищує інформативність картографічної моделі.

Основною проблемою, що виникла під час створення геоінформаційного банку даних об'єктів критичної інфраструктури м. Києва в середовищі ГІС обсерваційного екологічного рекогносциувального моніторингу довкілля-простору, було визначення реального відображення положення меж у різних

цифрових джерелах і часові параметри даних. При цьому визначається наскільки правильні цифрові структури, що представлені в базах даних, тому що вони відображають реальну ситуацію (моделюють реальність) та наскільки точно розроблені алгоритми дозволяють розрахувати правильне значення результату співставлення даних [6].

На карті забруднення повітря м. Києва використовується кількісний фон із якісним відображенням оцінки впливу на атмосферне повітря міста за адміністративними одиницями. Це дозволяє здійснювати районування території міста за загальним рівнем допустимих значень забруднень при використанні автоматизованих станцій замірів забруднюючих елементів у повітрі.

Кількісна інформація в моніторинговій ГІС складається з таких елементів якості: повнота, логічна узгодженість, позиційна точність, часова точність, тематична точність. Кожен елемент включає опис аспектів кількісної оцінки якості набору даних. Повнота визначається достатністю даних для цілісного, детального, адекватного представлення просторових об'єктів. Ці вимоги були застосовані при укладанні карти викидів у повітря від стаціонарних джерел (рис. 8).

Цифрові просторові дані обсерваційного екологічного рекогносциувального моніторингу довкілля-простору м. Києва використовуються як:



Рис. 7. Об'єкти критичної інфраструктури м. Києва

- база цифрових загально-географічних даних, що є сучасним електронним інформаційним ресурсом;
- основа для розробки тематичних баз даних для геоінформаційного картографування на міському рівні в масштабі 1 : 64 000 в багатофункціональній геоінформаційній системі;
- основа для створення електронних карт результатів обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва.

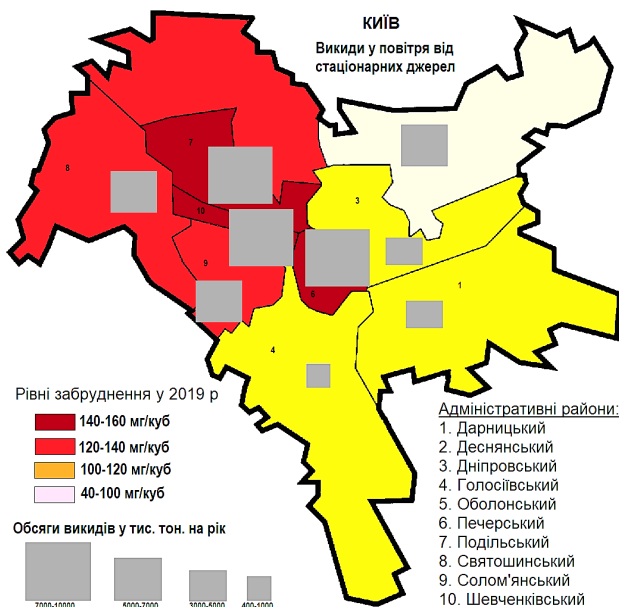


Рис. 8. Тематичний шар «Викиди в повітря від стаціонарних джерел»

Найліпшим способом відображення статистичних даних є картограма із однотонним пошаровим фарбуванням або застосуванням різної гами кольорів для посилення візуального ефекту визначення рівнів забруднення. Така технологія була застосована під час укладення карти рівнів забруднення гідросфери м. Києва.

Складність такого синтетичного (морфокомплексного) картографування ґрунтується в зображеннях кольорового насичення. Кольори в гамі розміщені в напрямку зростання складності передачі багатоморфологічної інформації про об'єкт критичної інфраструктури. Основними кольорами є коричневий, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій. За необхідності гама може розширюватися завдяки використанню фіолетового та бузкового кольорів [7].

Такий рівень складності передачі синтетичної інформації при GPS-картографуванні обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва сформований протягом усього мегациклу географічного краснавчого дослідження об'єктів критичної інфраструктури. Зображення транспортної інфраструктури відносяться до полігонних об'єктів на карті критичної інфраструктури м. Києва та можуть позначатися різними лініями, зокрема, суцільними полігонами

ліній насиченою штриховкою або пунктирно-штриховими комбінаціями, але одної товщини ліній та напрямом штрихування.

Функціональні можливості ГІС дозволяють вносити інформацію на карту без відповідної легенди об'єктів. Був застосований безгенералізаційний режим, що дозволяє отримувати електронні карти у вигляді растрового зображення. В цілому, можливості такої GPS/GNSS-електронної карти-основи – простота безгенералізаційного нанесення баз даних обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва та можливість зміни умовного знаку (способу зображення) без зазначення легенди. Це спрощує картосеміотичні властивості карти з точки зору сприйняття геоінформації.

Існують ще дві форми укладання електронної GPS/GNSS-карти-основи в ГІС. Результати обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва представлені у векторному та растровому форматах. Обидва формати мають свої переваги та недоліки. Передача геодезичної інформації в ГІС зобов'язує використовувати додаткові модулі растрових зображень, що не вимагає наявності додаткових модулів, але потребує постійного оновлення інформації при подальших географічних експедиціях [8].

Векторно-растрова складова присутня в роботі GPS-застосунків для девайсів, що працюють на платформах Android та iOS, які успішно пройшли юстирування та компарування. На рис. 9 представлені скріншоти інтерфесу відповідних мобільних картоінформаційних систем.

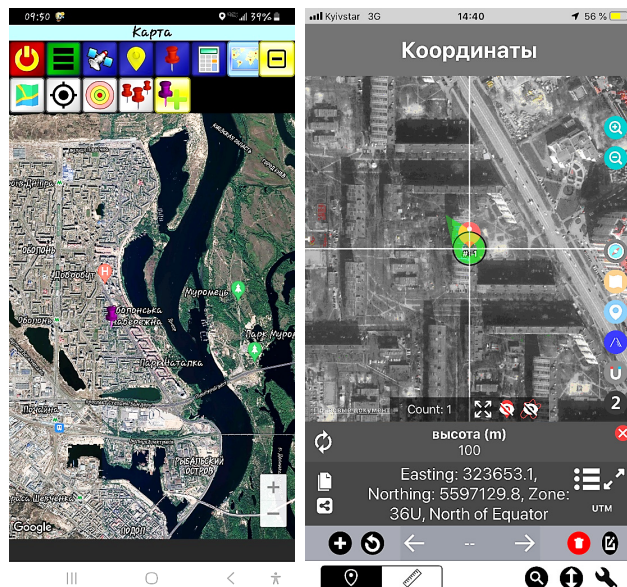


Рис. 9. Gadget-застосунки «Geodezist» та «Координати»

Використовуючи домінуючу функцію поліформатності ГІС, дані необхідно зберігати лише у векторному форматі, а передачу їх користувачу – забез-



печувати в растровому вигляді. Також можливе використання спеціальних браузерів за допомогою Інтернет, що значно прискорюють швидкість оброблення інформації системою в екстреному режимі під час проведення паралельної екологічної експедиції по уточненню географічного положення відповідного об'єкта критичної інфраструктури. Така методологія була застосована при укладанні карти ареалів хайвеїв м. Києва. За картою визначається рівень забруднення повітря. Відповідно, чим менша швидкість, тим більше викидів у довкілля (центральна частина м. Києва).

Стратегічний (управлінський) напрямок застосування геоінформаційної системи орієнтований на вищу керівну ланку. Застосування геоінформаційної системи на цьому рівні здійснюється з метою вирішення неструктурованих задач. Наприклад, планування території для її ревіталізації чи інших промислових місць для їх рекультиватії. Незважаючи на те, що збирання, оброблення та управління даними є важливими функціями спеціалізованої ГІС, проте в основному ГІС використовується для аналізу та підтримки географо-картографічного моніторингу забрудненості ґрунтів м. Києва [4].

Оброблення параметрів у ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва виконується за допомогою картографічного реєстру із записом значень параметрів. Усі бази даних ГІС зберігаються на серверах та мають проміжні архівні копії на дисках [9].

Статистична серія карт забруднення м. Києва – є результатом моніторингових досліджень і невід'ємною частиною прогнозування і побудови картоекологічних моделей. Однією із задач створення серії статистичних карт м. Києва є картографічна інтерпретація результатів моніторингу на антропогенних територіях із вивченням особливостей географічного положення ландмарків обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва з одночасним геоінформаційним картографуванням отриманих даних у режимі онлайн [10].

Змістовна складова серії карт м. Києва на завершальній стадії геоінформаційного моніторингу розв'язує задачі просторового дослідження еколого-небезпечних дестинацій та патогенних антропогенних об'єктів на відповідній території. Це наочне

відображення інформації в картографічному вигляді з точки зору комплексного представлення та оцінки патогенного впливу на довкілля від критичної інфраструктури м. Києва. Постає можливість точної адресації інформації за адміністративними районами міста. Додаткова систематизація інформації є важливою для прийняття управлінських і охоронних рішень. За ними проводиться аналіз та оброблення даних безпосередньо в середовищі ГІС без використання додаткових програмних продуктів і без втрати прив'язки до картографічного зображення [11–12]. Результатом реалізації обсерваційного моніторингу є комплексні статистичні карти рівнів природно-техногенних забруднень на території міста та його агломерацію (рис. 10).

**Головні висновки.** Розроблені визначення, класифікації та проектування картографічних моделей для потреб державного управління в сфері екологічної безпеки. Складені структурно-параметричні модулі узагальнюють панхронологічну екологічну інформацію з координацією на території і містять атрибутивну геоінформацію, що відображає моніторингові інтегральні дані впливу на довкілля екологічно небезпечних техногенних чинників у найзручнішому для порівняльного вигляду – цифрову карту екологічної безпеки спеціального призначення.

В основу методів проектування спеціалізованих картографічних моделей покладено принцип

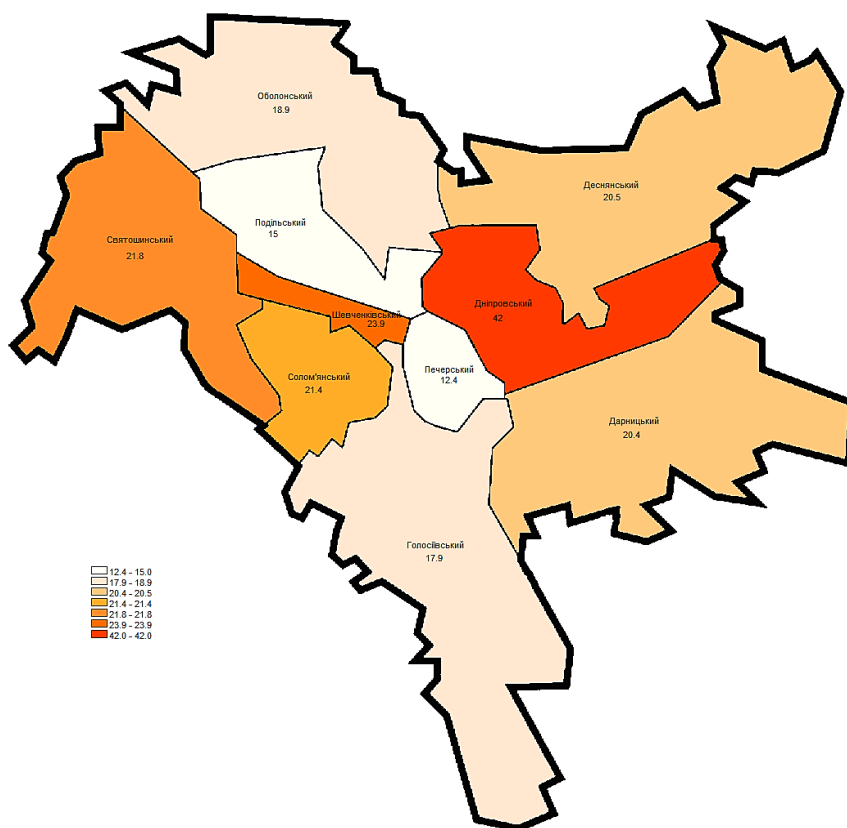


Рис. 10. Сумарні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення за районами, тис. тон у м. Києві за 2020 р.



піксельного сприйняття геозображень, що функціонально пов'язаний із технологією визначення змін показників екологічних характеристик місцевості, отриманих й оброблених за конкретний моніторинговий період часу. Як наслідок, оцінка чинників патогенного впливу на довкілля території визначається диференційними змінами поточних природних параметрів.

Результатом застосування ГІС-технологій у картографуванні надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру є розроблені електронні карти екологічної безпеки м. Києва. Одним з аспектів розроблення наукових основ системного картографування екологічної безпеки є запровадження спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи ГІС & GPS / GNSS-досліджень просторових дестинацій екологічної безпеки м. Києва. Це дозволяє систематизувати та узагальнити геоінформаційні

бази даних щодо потенційно небезпечних природних і промислово-антропогенних територій міста. Вперше в основу картогеоінформаційного забезпечення управління у сфері екологічної безпеки та реалізації програм захисту довкілля у м. Києві покладені Gadget-технології.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Наведений алгоритм апробований під час реалізації проєкту генерального міського планування м. Києва, зокрема, геологічних аномалій, небезпечних природних умов, антропогенних порушень природного потенціалу територій. Такий метод може застосовуватися при складанні статистичних екологічних карт м. Києва у мобільних Gadget-картографічних системах, які дозволяють оперативно й своєчасно прогнозувати потенційно-небезпечні явища та надзвичайні ситуації природного характеру.

### Література

1. Актуальні напрямки розвитку картографії в Україні / За редакцією Руденка Л. Г. Київ : Ін-т географії НАН України, 2019. 90 с.
2. Національний атлас України. Наукові основи створення та їх реалізація / За ред. Л. Г. Руденка. К. : Академперіодика, 2007. 408 с.
3. Бондар О. І., Машков О. А., Пашков Д. П., Ващенко В. М., Шевченко Р. Ю. Моніторинг стану навколишнього середовища засобами ГІС. Навч.-метод. та практ. рекомендації. 2018. 52 с.
4. Некос А., Щукін Г., Некос В. Дистанційні методи досліджень в екології. Харків, 2007. 372 с.
5. Бондар О. І., Фінін Г. С., Унгурян П. Я., Шевченко Р. Ю. Дистанційні методи моніторингу довкілля. Навч. посібн. 2019. 298 с.
6. Адаптація до змін клімату: зелені зони міст на варті прохолоди: монографія. За ред. Т. Казанцева. Київ, 2016. 40 с.
7. Світличний О. О. Основи геоінформатики : навч. посібн. Суми, 2006. 295 с.
8. Екологічний атлас Києва. Київ, 2006. 60 с.
9. Клименко М. О., Прищепя А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля. Київ, 2006. 360 с.
10. Мкртчян О. Геоінформаційне моделювання в конструктивній географії. Львів, 2010. 119 с.
11. Шевченко Р. Ю. Інструментарій моніторингу довкілля м. Києва. Монографія. Київ, 2020. 324 с.
12. Шевченко Р. Ю. Києвознавство: просторова інтерпретація урболандшафту. Монографія. Київ, 2021. 248 с.