

## КОНЦЕПЦІЯ ТЕОРІЇ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНИМ МОНІТОРИНГОМ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

Шевченко Р.Ю.<sup>1</sup>, Жаврида Д.Є.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського 35, 03035, Київ  
azimut90@ukr.net

<sup>2</sup>Обухівська районна державна адміністрація  
вул. Малишка, 10, 08700, м. Обухів  
obuh\_rda\_zagvid@ukr.net

Розглянуто модель взаємодії прикладних програм обробки даних аерофотознімання та технологію їх інтеграції, які включають блок обробки навігаційних екологічних даних та блок корекції сканованого зображення місцевості, що працюють паралельно та дозволяють створити ортофотоплан заданої ділянки місцевості без втрати якості та зі значною економією часу, що, загалом, дозволяє проектувати великомасштабні карти управління екологічним моніторингом для оперативного визначення ризиків антропогенного впливу. *Ключові слова:* екологічний моніторинг, екологічна безпека, геоінформаційна модель, картографування екологічної безпеки, структурно-графічна модель, природно-техногенна безпека, математична модель.

**Концепция теории управления экологическим мониторингом для оперативного определения рисков антропогенного влияния.** Шевченко Р.Ю., Жаврида Д.Е. Рассмотрена модель взаимодействия прикладных программ обработки данных аэрофотосъемки и технология их интеграции, включающие блок обработки навигационных экологических данных и блок коррекции отсканированного изображения местности, которые работают параллельно и позволяют создать ортофотоплан заданного участка местности без потери качества и со значительной экономией времени, что в целом позволяет проектировать крупномасштабные карты управления экологическим мониторингом для оперативного определения рисков антропогенного воздействия. *Ключевые слова:* экологический мониторинг, экологическая безопасность, геоинформационная модель, картографирование экологической безопасности, структурно-графическая модель, естественно техногенная безопасность, математическая модель.

**The concept of the Theory of environmental monitoring for the rapid determination of the risks of anthropogenic influence.** Shevchenko R., Zhavrida D. Reviewed a model for the interaction of aerial photography data processing programs and the technology for their integration, including the environmental navigation data processing unit and the scanned image correction block, work in parallel and allow you to create an orthophotoplan of a given terrain segment without loss of quality and with significant time savings. In general, it allows the design of large-scale environmental monitoring management cards for the rapid determination of risks tropic exposure. *Key words:* environmental monitoring, environmental safety, geo-information model, environmental safety mapping, structural-graphical model, naturally technological safety, mathematical model.

**Постановка проблеми.** Управління якістю довкілля реалізується шляхом проведення перманентного екологічного моніторингу з виявлення джерел антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Територіально відповідний моніторинг з оцінки ризиків техногенного навантаження здійснюється на локаціях промислових підприємств, великих забудованих міських територій, що зазнають впливу забруднення транспортними засобами вздовж автомобільних магістралей, та на територіях надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру [1].

Для отримання оперативної інформації про стан трансформації навколишнього середовища під впливом антропогенних чинників, виявлення джерел, що формують ризик-фактори та формулювання рекомендацій щодо їх попередження і подолання (в разі

виникнення), застосовуються аерокосмічні технології та геоінформаційні системи, обробка та моделювання реалізується у створених імітаційних моделях у середовищі експертних геоінтелектуальних (далі – ГІС) систем прийняття рішень та прикладних ГІС, таких як GIS Golden Software Surfer та QMap [2].

На сьогодні в Україні досить актуальною є проблема ефективності управління екологічним моніторингом для оперативного визначення ризиків антропогенного впливу. У таких країнах, як Сполучені Штати Америки, Канада, Німеччина, Франція та Велика Британія ця проблема успішно розв'язується за допомогою технологій геоінтелектуальних систем прийняття рішень, ядром якої є супутникові системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) [3].

Основні задачі ГІС точного управління екологічним моніторингом для оперативного визначення

ризиків антропогенного впливу є: введення, оброблення, зберігання і виведення відповідно до запитів вимог системи управління екологічним моніторингом різноманітних картографічних даних про стан навколишнього природного середовища і геоданих про динамічні рухomi промислово-антропогенні об'єкти, що впливають на загальний стан довкілля та медико-географічну ситуацію на території місцевих об'єднаних територіальних громад.

**Актуальність дослідження.** Нині на розроблення методології побудови, конструювання та проектування моделей, методів і засобів формування динамічних сценаріїв для екологічних геоінформаційних систем реального часу для підвищення адекватності представлення та сприйняття зовнішнього середовища, в якому є рухomi об'єкти космічного, повітряного та наземного базування.

Для досягнення вищезазначеної мети необхідно розв'язати такі взаємопов'язані задачі:

- розробити моделі та методи побудови статичного та динамічного складників екологічних ГІС реального часу управління екологічним моніторингом для оперативного визначення ризиків антропогенного впливу;

- створити технологію інтеграції прикладних програм обробки даних аерофотознімання для створення електронних екологічних карт заданого масштабу;

- запропонувати методи та засоби формування динамічних сценаріїв для екологічних ГІС реального часу;

- на основі запропонованих моделей, методів та алгоритмів створити програмні засоби формування динамічних сценаріїв управління екологічним моніторингом для оперативного визначення ризиків антропогенного впливу.

**Зв'язок авторського дослідження з важливими науковими та практичними завданнями.** Робота виконана в межах НДР ДЗ «ДЕА» «Розробка нормативно-методичного документа рубрикатора завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою космічних систем ДЗЗ та ГІС» (заключний) (№ держреєстрації 0118U005461).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для розв'язання поставлених задач був використаний комплекс методів: для розроблення моделей статичного та динамічного складників екологічної ГІС – це розроблений апарат системного аналізу академіка В.М. Глушкова, теорія множин, теорія графів; для формалізації представлення знань предметної області – методи дискретної математики та математичного моделювання; для створення бази картографічних даних – методи фотограмметрії та комп'ютерної графіки, цифрової картографії; для програмної реалізації моделей та алгоритмів формування динамічного сценарію – методи структурного, модульного та об'єктно-орієнтованого програмування [4].

Для успішного розв'язання таких задач були використані праці: О.І. Бондаря, В.М. Глушкова,

В.П. Деркача, О.В. Палагіна, М.І. Васюхіна, Л.В. Аніскевича, В.І. Кравчука, В.В. Цісаржа, Р.І. Марусика, В.Г. Смоля, С.Л. Кривого, В.Є. Ходакова, В.Г. Шерстюка, Л.Ф. Коженевські, М.Д. Скубіліна та ін. Дослідження базується також на загальнонаукових засадах теорії ризиків, теорії управління, системи управління екологічним моніторингом і наукових концепцій, розроблених провідними зарубіжними та українськими вченими: О.І. Бондарем, В.М. Барановим, Г.І. Рудьком, Г.І. Білявським, С.М. Чумаченком тощо.

Аналіз доступних публікацій дає підстави стверджувати, що на сьогодні в Україні немає відкритих для вітчизняних розробників геоінтелектуальних моделей управління екологічним моніторингом для оперативного визначення ризиків антропогенного впливу, методів і засобів побудови динамічних сценаріїв, які створюються за допомогою спеціалізованих ГІС, які б дозволяли вести оперативний контроль за станом довкілля та управляти операціями попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру в режимі реального часу (онлайн). Така геоінформація є в закордонних розробників, що ретельно приховується з огляду на комерційні інтереси фірм-монополістів ГІС і недоступна для вітчизняних геоінженерів та науковців-екологів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У результаті аналізу та узагальнення досліджень екологічних ГІС-моделей, методів та засобів формування динамічних сценаріїв у спеціалізованих геоінформаційних системах знайдено аналогі та обрано прототипи таких систем, виявлено їхні істотні недоліки, серед яких основними є такі:

- використання як фону динамічного сценарію картограм, які не мають властивостей електронних карт, тобто подають зображення місцевості схематично і з великим ступенем спотворення;

- відсутність прив'язки рухомих об'єктів космічного, повітряного і наземного базування до світових систем координат та їх відображення на картографічному фоні в реальному часі;

- відсутні ефективні моделі й методи формування динамічних сценаріїв, які включають динамічні об'єкти космічного, повітряного та наземного базування;

- потребують удосконалення пакети прикладних програм формування динамічних сценаріїв реального часу для ГІС.

**Новизна.** Вперше запропоновано модель взаємодії прикладних програм обробки даних аерофотознімання та технологію їх інтеграції, які включають блок обробки навігаційних екологічних даних та блок корекції сканованого зображення місцевості, що працюють паралельно та дозволяють створити ортофотоплан заданої ділянки місцевості без втрати якості та зі значною економією часу, що дозволяє

проекувати великомасштабні карти управління екологічним моніторингом для оперативного визначення ризиків антропогенного впливу.

**Методологічне або загальнонаукове значення.**

Необхідний етап в управлінні моніторингом якості довкілля – це інженерно-технічні рекогноситування за відповідними пунктами екологічної обсервації ланд- марками, в тому числі й польове дослідження з виїздом на проблемні об'єкти й території. Відповідний сегмент наукових досліджень забезпечується спеціалізованим інструментарієм: геодезичними приладами, цифровими тахеометрами, лазерними сканерами, комплектами супутникового спостереження для фіксування динамічних (швидкоплинних) явищ та процесів, таких як розлив аміаку або деформації інженерних конструкцій та споруд, що руйнуються під впливом непідконтрольних природних або техногенних стихійних ситуацій, або навіть таких, що виникають унаслідок інших чинників, таких як надзвичайні суспільно-політичні та військові дії (пожежі внаслідок підпалу, диверсійні та терористичні акти на промислових об'єктах або комунальних підприємствах).

У разі оперативного (надзвичайного) локального рівня виникнення надзвичайної ситуації, коли є необхідність термінового координування джерел промислово-антропогенного забруднення, використання гаджетних програмних засобів GPS, а саме android-додатки: GPS Status & ToolBox Professional та GeoDesist, їх використання дозволить ітераційно (у першому наближенні) прогнозувати геопросторові аспекти розповсюдження, наприклад, сильнодіючих отруйних речовин, та за допомогою командних засобів зв'язку з попередження інформувати населення щодо проведення оперативних надзвичайних заходів з евакуації територіальної громади на відповідних територіях тощо [5].

Із запровадженням у систему управління моніторингом якості довкілля та оперативного визначення ризиків техногенного впливу безпілотних літальних апаратів як складової частини аерокосмічних систем, підвищується ступінь оперативної інформованості відповідних державних і муніципальних установ та відповідних спеціалізованих аварійно-рятувальних формувань, які дозволяють у режимі онлайн моніторити ситуацію [6].

Технологічна функціональність передачі відповідної потокової оперативної геоінформації та її трансформація в цифрові об'єкти та площадні умовні позначення на картографічних сервісах Інтернету – геопорталу (ГІС-карти), електронні ортофотоплани створює передумови для якісного керування (взяття під контроль) будь-якої надзвичайної ситуації, що потенційно зменшуватиме людські та фінансові втрати.

В Україні, з її теперішнім розвитком продуктивних сил та розміщенням виробництва, вважаються застарілими практично всі основні виробничі і

невиробничі фонди, це – зношеність технологічного обладнання підприємств, що є наслідком їх виробничого консервування та подальшого закриття. Деякі інженерні аспекти закриття еколого-небезпечних підприємств здійснюється під контролем відповідних державних інспекцій та урядових організацій. Економічна та політичні кризи на фоні воєнного конфлікту на сході держави лише посилюють потенційні загрози виникнення надзвичайних ситуацій природно-техногенного характеру. Цьому сприяє значна втрата людських ресурсів, що є логічним наслідком вищезазначених загальнонаціональних проблем.

Для попередження наслідків небезпечних неконтрольованих ситуацій необхідне розроблення наукової теорії управління екологічним моніторингом для оперативного визначення ризиків техногенного впливу, яка включатиме [7]:

- розроблення складових систем управління техногенним впливом;
- формування концепції механізмів управління екологічним моніторингом на основі використання аерокосмічних систем для контролю стану навколишнього природного середовища;
- обґрунтування та побудова управлінської моделі екологічними моніторингом у повсякденних умовах та під час надзвичайних ситуацій;
- створення імітаційних моделей системи управління відповідним спеціалізованим моніторингом.

Геоінтелектуальним ядром такої системи управління екологічним моніторингом для оперативного визначення ризиків антропогенного впливу є спеціалізовані ГІС, які дозволяють без затримок відображати оперативну інформацію про поточну екологічну ситуацію на цифровій екологічній карті.

Використовуються методи: картографічний (проведення кореляційного аналізу стану довкілля на полігонних територіях, аналіз факторів природного та техногенного патогенного взаємного впливу, визначення трендів розвитку патогенної ситуації на місцевості – просторовий аналіз), геоінформаційний (аналіз та обробка даних дистанційного зондування Землі, розроблення моделі інфраструктури екологічної ГІС), математичний (створення математичного апарату управління екологічним моніторингом, побудова структурно-параметричних моделей розвитку і подолання екологічних катастроф), метод аналізу й синтезу (прогнозування екологічних надзвичайних ситуацій з розробкою інтерполяційних методів білінійної інтерполяції техногенних ризиків.

Для вирішення поставлених завдань застосовуються також загальнонаукові та спеціальні методи досліджень:

- системного підходу та структурно-графічного моделювання під час визначення складників оперативного екологічного моніторингу та формування комплексу джерел для забезпечення його функціонування;

– узагальнення та логічного аналізу під час обґрунтування нових термінів і понять; описовий під час аналізу досвіду проведення моніторингу;

– порівняльно-географічний, класифікаційний та експедиційний для збору фактичних матеріалів;

– геоінформаційного та картографічного моделювання під час вивчення просторових еколого-небезпечних об'єктів та їхніх особливостей.

**Виклад основного матеріалу.** Науковою основою досліджень є експериментальна база ГІС та ДЗЗ, що складається з таких блоків (рис. 1):

Управління екологічним моніторингом є однією з найбільш важливих у природно-техногенному моніторингу складових частин національної безпеки України. Найважливішим напрямом інновацій у цій галузі є розроблення і впровадження систем управління засобами супутникового моніторингу та геоінформаційного картографування, точніше, геоінтелектуального моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру.

Технологія управління екологічним моніторингом визначення ризиків антропогенного впливу реалізується в поєднанні з ГІС та GPS, що дозволяє забезпечити посилений контроль за проведенням операцій із запобігання та ліквідації їхніх наслідків, відслідковувати зміну ситуації в часі на кожній окремій проблемній території чи акваторії і навіть навколоземного простору та найменшої площі ділянки. Все це допомагає провести порівняльний аналіз обстановки, що складається з прогнозованим вектором розвитку подій (тренду горизонту подій).

В Україні склалася критична ситуація зі зношенням технологічного обладнання, основних фондів підприємств, що несе потенційну загрозу забрудненню навколишнього природного середовища, має суцільно негативну просторову характеристику в усіх регіонах держави. Пікові показники критичності зношення інфраструктури припадають на Донбас та Криворізький промислові райони. Ситуація на Донбасі вже має ознаки екологічної катастрофи внаслідок військового конфлікту.

На думку авторів, вивести країну з повзучої надзвичайної ситуації природно-техногенного характеру допоможуть нові наукові підходи щодо управління екологічним моніторингом із визначенням показників антропогенного впливу.

Система управління екологічним моніторингом складається зі структурно-параметричної схеми, складовими частинами якої є такі контрольні функції:

– моніторингу трансферу отруйних речовин територією України з дослідженням за аерокосмічними знімками стану автошляхів, коридорів водного та повітряного транспорту, ліній телекомунікації, нафто-, газо- й аміакопроводів та інших високоенергетичних і вибухонебезпечних хімічних сполук;

– спостереження за рівнями фонових забруднення в напрямках проблемно-небезпечних транспортно-логістичних шляхів сполучення з отриман-

ням потокової (оперативної) інформації про кількісні та якісні показники фізико-хімічного стану водної поверхні, суходолу і повітряних мас за допомогою мережі реперних пунктів спостереження довкілля. У відповідну мережу доцільно включати метеорологічні станції, гідрологічні пости, пункти астрономіко-геодезичної мережі, щогли радіотехнічного та візуального спостереження вздовж відповідних трас. Формуються трасові звіти (підкажний журнал стану довкілля);

– контроль розвантаження/завантаження отруйних речовин і сильнодіючих отруйних речовин (далі – СДОР) на транспортні засоби на так званих ординарних постах морських та річкових портів, залізниць, повітряного транспорту, що підпорядковані Митній службі. Значну увагу у відповідному кластері управління екологічним моніторингом необхідно приділити маркуванню відповідних хімічних сполук чи радіоактивних елементів. Відповідна проблема постає з будівництвом на території Чорнобильської зони відчуження сховища зберігання радіоактивних відходів.

На рис. 2 представлена структурно-параметрична схема критичної інфраструктури України, що підлягає оперативному моніторинговому дослідженню.

Організація управління кризовим моніторингом є інноваційною, а саме:

– формування оптимальних маршрутів транспортування і переміщення отруйних речовин Україною та оцінка ризиків із визначенням масштабів потенційних надзвичайних ситуацій;

– синтез систем управління оперативним (кризовим) екологічним моніторингом у середовищі геоінформаційних систем із застосуванням даних дистанційного зондування Землі;

– оцінка ризиків переміщення СДОР та впливу їх на оточуюче середовище перебування людини в залежності від сезонів року (кліматичних умов), типу топографії місцевості та факторів територіальної організації системи цивільного захисту;

– оцінка ризиків антропогенного впливу отруйних речовин на стан здоров'я населення прилеглих територій, створення спеціалізованої ГІС «Екологічна геологістика СДОР в Україні»;

– створення картографічного ресурсу Інтернету (екогеопорталу) для систем проведення оперативного екологічного моніторингу, попередження природно-техногенних надзвичайних ситуацій та створення моделей ліквідації наслідків потенційних катастроф.

В основу відповідної математичної структурно-параметричної моделі ГІС покладені наукові концепції системи інженерного управління екологічним моніторингом (структурно-логістичні коридори), теорії ризиків і катастроф та власне теорія управління. На рис. 3 представлена структурно-логічна модель алгоритму створення відповідної спеціалізованої ГІС.

З геопросторової точки зору проблема визначення відповідних коефіцієнтів  $K_{1...3}$  має геогра-

фічну складову частину. На карті регіонів України створена імітаційна модель (рис. 4) територіального розподілу коефіцієнтів антропогенних ризиків впливу на навколишнє природне середовище. По кожній області стовпчиковою діаграмою у вигляді стрілки кількісних характеристик показано сумарне значення потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури та представлено у значенні  $P_i$ . З огляду на вищевикладене можна вивести формулу загальнодержавного ризику: де  $P_i$  – об'єкти критичної інфраструктури по  $i = 25$  суб'єктам держави.

Наукові основи управління екологічним моніторингом з точки зору технічних наук знаходяться на етапі структурно-параметричного розроблення. Система управління буде спиратися на дані сучасних дистанційних зйомок землі в різних спектрах та направлятися на геоінформаційну обробку. Українська система управління моніторингом матиме свою специфічну структуру, і це пов'язано з катастрофічним станом навколишнього середовища. Значним фактором забруднення в Україні є транспортна мережа. Запровадження системи управ-



Рис. 1. Експериментальна база наукового дослідження

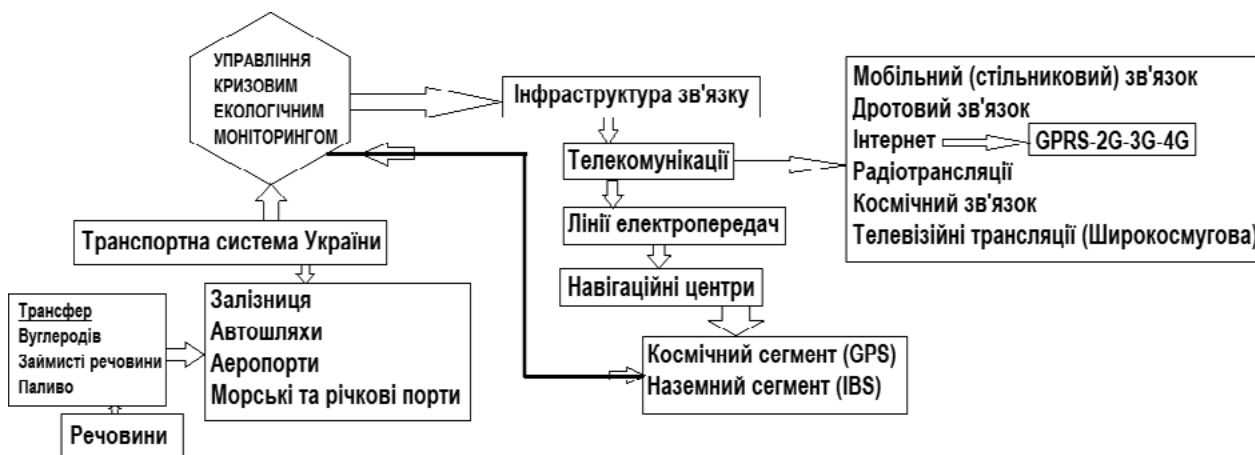


Рис. 2. Система управління екологічним моніторингом

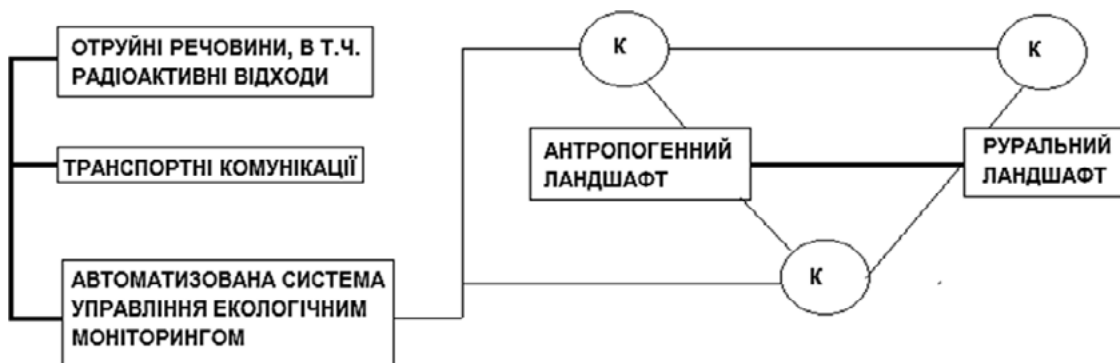


Рис. 3. Схема інформаційних потоків формування реляційної бази даних ГІС, де  $K$  – коефіцієнти ризиків техногенного впливу на оточуюче природне середовище,  $V$  – математична основа ГІС, де задіяні такі складники:  $f_{CVEM}$  – функція системи управління екологічним моніторингом;  $f$  – функціональні компоненти роботи ГІС;  $OP$  – отруйні речовини;  $TK$  – транспортні комунікації;  $AL$  – антропогенний (урбаністичний, промисловий) ландшафт;  $PL$  – руральний (сільський, природний) ландшафт;  $K_{1...3}$  – коефіцієнти ризиків катастроф



Рис. 4. Імітаційна картографічна модель геопросторового розподілу коефіцієнту антропогенного ризику (P1...25)

ліній відповідними процесами в ГІС створять заслін їх розповсюдженню і формуватимуть комплекс державних заходів із запобігання природно-техногенним катастрофам.

**Головні висновки.** За допомогою систем моніторингу об'єктів космічного, повітряного і наземного базування розв'язана актуальна науково-прикладна задача формування динамічних сценаріїв управління екологічним моніторингом у навігаційних геоінформаційних системах реального часу з метою підвищення адекватності відображення та сприйняття поточної обстановки та отримано такі основні наукові та практичні результати:

- уперше запропоновано модель взаємодії прикладних програм обробки даних аерофотознімання та технологію їх інтеграції, які включають блок обробки навігаційних даних та блок корекції сканованого зображення місцевості, що працюють паралельно та дозволяють створити ортофотоплан заданої ділянки місцевості без втрати якості та зі значною економією часу, що дозволяє будувати великомасштабні карти будь-якого тематичного змісту;

- уперше представлено модель бази картографічних даних, сутність якої – диференціація зв'язків картографічних об'єктів (концептів) з виділенням тематичної, графічної і просторової множин на основі єдності їх концептуалізації та інтерпретації в електронну карту у вигляді одного файлу (в прототипах 5 і більше);

- уперше запроваджено технологію відображення символів рухомих об'єктів за рахунок створення бази символічних даних зі складною атрибутикою для наземних агрегатів, космічних і повітряних об'єктів у залежності від їх типу, структури та функціонального призначення;

- уперше розроблений метод відображення переміщень символів рухомих об'єктів на картографічному фоні з частотою відновлення динамічної сцени 50 разів у секунду, що забезпечує плавність відображення та більш адекватне сприйняття динамічної ситуації людиною-оператором;

- уперше розроблена модель функціонування динамічних сценаріїв у екологічній ГІС. Сутність удосконалення полягає в новій формалізації опису складових об'єктів, що рухаються в космічному, повітряному і наземному просторах, та у використанні методу трансформації символів таких рухомих об'єктів синхронно, з масштабом картографічного фону, що дозволяє максимально адаптувати динамічну сцену відповідно до запитів оператора.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Розробка може отримати впровадження в систему екологічного моніторингу й меншого рангу: регіонального, місцевого та об'єктового. Алгоритми також можуть бути покладені в розробку багатофункціональної ГІС екологічної безпеки адміністративного району чи об'єднаної територіальної громади (на прикладі Обухівського району Київської області).

#### Література

1. Аль-Тамімі Р.К.Н. Удосконалення методики побудови екологічних карт антропогенного впливу на основі багатоспектральних знімків. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, 2015. Вип. 3 (35). С. 61–64.
2. Лялько В.І., Федоровський О.Д., Костюченко Ю.В. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. Київ, 2006. 357 с.
3. Баранов В.Н. Космическая геодезия. Москва, 1986. 408 с.
4. Бусыгин Б.С. Инструментарий геоинформационных систем. Киев, 2000. 172 с.
5. Кац Я.Г. Основы космической картографии. Москва, 1988. 236 с.
6. Клименко М.О. Моніторинг довкілля. Київ, 2006. 360 с.
7. Книжников Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований. Киев, 2004. 336 с.