
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 528.94:631.4:338:346.78

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.7>

СУЧАСНІ ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ ТА ЕЛЕКТРОННИЙ ГЕОКАРТОІНФОРМАЦІЙНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДОСТУПУ ДО ЕКОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
dei2005@ukr.net

Діджиталізація України – загальнонаціональна технологічна ідея цифрової трансформації всіх галузей економіки держави. Її впровадження є головною вимогою до інтеграції України до Європейського геоінформаційного простору.

Висвітлена технологія захисту довкілля на прикладі роботи електронного маршрутизатора, що апробується під час рекогностування проблемної місцевості на експериментальному геодезичному полігоні польових геопросторових еколого-природоохоронних досліджень у межах території м. Києва з метою практичного застосування та випробування технічних складових роботи відповідного Smart-інструментарію.

Розроблені та вдосконалені алгоритми проектування діджиталізованих полігонних картографо-геодезичних експедиційних пікетажних коридорів моніторингу довкілля-простору. Технологічно це реалізовано на прикладах математичних моделей роботи Android-програм високоточного супутникового Gadget-координатного визначення джерел забруднення з метою визначення топографічних змін ландшафтів на забудованих (міських) та природних ландшафтів.

Сформульована геоматична парадигма екологічного моніторингу, що ґрунтується на девайсовій геодезії та геоіконічній концепції геоінформаційної інтерпретації просторів та довкілля. Обґрунтована картосемантика та картопрагматика картографічної основи та точності екологічних та природоохоронних карт. Сформований математичний алгоритм автоматизованої геоінтелектуальної системи екологічного та атласного картографування у спеціальних геокартоінформаційних системах.

Укладена карта ідентичності типів природокористування та обсерваційного ландшафту на території м. Києва. Розроблений математичний апарат реалізації екологічного моніторингу підсупутниковими технологіями Близького космосу (космосфери) на території великого міста. Удосконалено систему проектування картографічних електронних проєкцій. Представлена азимутальна (циркмплярна) проєкція обсервації, яка інстальована у е-маршрутизатор. Визначена логіко-математична складова формул автоматизованого обчислення систем координат та їх перетворення у цифровий геокартоінформаційний інструментарій доступу до екологічної інформації. *Ключові слова:* діджиталізація довкілля, рекогностувальний маршрут, електронний маршрутизатор, абрисно-пікетажний цифровий журнал, координати потенційно-небезпечного антропогенного об'єкта.

Modern digital satellite monitoring technologies and electronic geo-map information tools for access to environmental information. Finin G., Shevchenko R.

Digitalization of Ukraine is a nationwide technological idea of digital transformation of all sectors of the state economy. Its implementation is the main requirement for Ukraine's integration into the European Geoinformation Area.

The technology of environmental protection is highlighted on the example of electronic router, which is tested during reconnaissance of the problem area at the experimental geodetic test site of field geospatial ecological and environmental research within the city of Kyiv for practical application and testing of technical components of the Smart-tool.

Algorithms for designing digitalized landfill cartographic and geodetic expeditionary picket corridors for environmental and spatial monitoring have been developed and improved. Technologically, this is realized on the examples of mathematical models of Android-programs of high-precision satellite Gadget-coordinate determination of pollution sources in order to determine the topographic changes of landscapes on built-up (urban) and natural landscapes.

The geomatic paradigm of ecological monitoring is formulated, which is based on device geodetics and geo-iconic concept of geo-informational interpretation of spaces and environment. Substantiated cartosemantics and cartopragmatics of cartographic basis and accuracy of ecological and nature protection maps. The mathematical algorithm of the automated geointelligent system of ecological and atlas mapping in special geocartographic information systems is formed.

The map of identity of types of nature management and observational landmark on the territory of Kyiv is concluded. The mathematical apparatus of realization of ecological monitoring by satellite technologies of the Middle Space (Cosmosphere) in the territory of the big city is developed. The system of designing cartographic electronic projections has been improved. The azimuthal (circumpolar) projection of the observation, which is installed in the e-router, is presented. The logical-mathematical component of the formulas of automated calculation of coordinate systems and their transformation into digital geo-map information tools for access to environmental information is determined. *Key words:* digitalization of the environment, reconnaissance route, electronic router, outline picket digital journal, coordinates of a potentially dangerous anthropogenic object.

Постановка проблеми. Інформаційні системи та технології в процесі діджиталізації країни набувають всеохоплюючих ознак – від систем адміністративного управління до сучасного екологічного моніторингу навколишнього природного середовища. Для потреб охорони навколишнього природного середовища застосовуються різні за видами цифрові інформаційні технології. Переважно це технології сучасної цифрової картографії (геоінформаційні системи та технології/геоінтелектуальні системи прийняття рішень), цифрової фотограмметрії (геоінформаційна обробка цифрових даних БПЛА (безпілотні літальні апарати: дрони, квадрокоптери, зонди) – засоби підсупутникових та супутникових зйомок) та цифрової геодезії (Android (SMART)/iOS-застосунки високоточного визначення координат пунктів місцевості). Діджиталізація захисту довкілля, а саме формування геоінформаційного простору за допомогою технологій космосфери, постає як важливе стратегічне завдання загальнонаціональної програми охорони навколишнього природного середовища України.

Актуальність дослідження. Застосування сучасних цифрових супутникових технологій оперативного визначення координат потенційно-небезпечних джерел та супроводження спеціалізованих рекогносцирувальних маршрутів Gadget-застосунками в програмах оцінки впливу та захисту довкілля є беззаперечною. Формування єдиного геоінформаційного простору екологічної інформації для потреб управління екологічним моніторингом рівнів екологічної безпеки та оперативного визначення ризиків на геоторіях антропогенного впливу стає один із головних наукових задач сучасної цифрової супутникової геодезії та електронної картографії на шляху розв'язання екологічних проблем.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наукові дослідження здійснювалися в рамках науково-дослідної роботи в галузі географічних наук «Розробка методики застосування аерокосмічних знімків для цілей охорони, раціонального використання природоохоронних територій на прикладі об'єктів природно-заповідного фонду (шифр «ПЗФ-контроль») на кафедрі екологічного моніторингу та геоінформаційних технологій ДЗ «ДЕА» у 2021 р.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наукові положення та концепції застосування технологій Близького Космосу висвітлені у матеріалах результатів досліджень учених Державного космічного агентства України та Центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України. Вони виголошені на науково-практичних конференціях: «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи» та «Системи геофізичного моніторингу: сьогодення та майбутнє». Математичні та логіко-параметричні моделі представлені в тезисних доповідях розміщених на інтернет-ресурсі <https://spacecenter.gov.ua>.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Діджиталізація технологій захисту довкілля під час реалізації екологічного моніторингу за допомогою цифрових засобів геодезії та картографії не висвітлена у сучасних наукових часописах та спеціалізованих виданнях. Формування алгоритму застосування сучасних е-маршрутизаторів у еколого-природоохоронному рекогносцируванні місцевості потребує методологічного обґрунтування та апробації.

Новизна. Розроблений комплексний інструментарій гібридизації системи супутникової навігації, що використовується при організації рекогносцирувальних еколого-топографічних та еколого-гідрографічних експедиційних полігонних досліджень у м. Києві. Основна увага приділяється до технологічних особливостей визначення координат при застосуванні супутникового електронного маршрутизатора, способи та прийоми розрахунку масштабних рядів тематичних даних супутникових сигналів, перетворення космоінформації у просторові інтерпретаційні моделі в середовищі ГІС.

Методологічне або загальнонаукове значення. Алгоритм застосування сучасних цифрових технологій супутникового моніторингу та електронний геоінформаційний інструментарій доступу до екологічної інформації є інноваційним в системі охорони навколишнього природного середовища України.

Викладення основного матеріалу. Розробка маршруту екологічного рекогносцирування здійснюється в період підготовки експедиційної партії до полігонних досліджень та складається із наступних заходів: підбір е-карт та е-посібників на територію дослідження, складання картографічного плану руху рекогносцирувального маршруту у геопорталі та попереднє прокладення маршруту на офлайн-картах, співставлення різночасових довідкових матеріалів, в т.ч. аерокосмічних знімків [10].

Підбір електронних карт та посібників здійснюється після отримання програми екологічного рекогносцирування місцевості та опису природно-техногенних небезпек, вихідні та кінцеві реперні точки маршруту та проміжні пікетажні пункти спостереження. Має значення час початку виходу на маршрут, перелік об'єктів проходження, особливості метеорологічних умов (місця т.з. якірних стоянок та місць укриття при несприятливих погодних умовах). У відповідності із вказівками, керівник групи за каталогами топографічних карт та наукових звітів підбирає спеціальні масштаби карт та спеціалізовані довідники (перелік природних та техногенних джерел забруднення, санітарні зони, території відчуження, об'єкти приватної власності тощо).

Масштаб рекогносцирувальної маршрутно-пікетажної карти обирається в середовищі ГІС, після попередньої делімітації шляху на електронній топографічній моделі, т.т., після зазначення всіх

локацій. На суміжні від пікетажної ширини маршруту (50 м. вліворуч та праворуч від вісі рекогнос-тувального шляху) прилеглі території, не покриті маршрутними картами, укладаються карти-сітки. Підібрані масштабні ряди карт (zoom-опція) у тематичному змісті мають мати контент об'єктів у такій послідовності, в якій вони означені програмою екологічного рекогнос-тування. Маршрутна офлайн-карта, що імпортується до гаджету із актуальною інформацією, потребує застосування базового тематичного шару космічного знімку із зазначенням усієї геоінформації щодо можливих змін у навігації групи.

Складання картографічного плану руху має забезпечувати найбільш ефективно розв'язання наукової задачі геопросторової розвідки місцевості та навігаційну безпеку проходження маршруту. Тому, перш ніж обрати маршрут необхідно ретельно вивчити рельєф, побудувати профіль маршруту на місцевості, розрахувати орієнтовний час проходження відповідної ділянки. За можливості маршрут необхідно прокладати на місцевості із найменшими екологічними та техногенними ризиками та небезпеками [11].

Складання картографічного плану руху рекогнос-тувального маршруту у геопорталі та попереднє про-кладення маршруту на офлайн-картах передбачає такий алгоритм нанесення геопросторових даних: галсові/полігональні проміни руху із зазначенням їх відстані та азимуту, поворотні азимуту та дирекційні кути/румби, контрольні дистанції до орієнтирів (природних або антропогенних домінантів у ландшафті: геодезичні знаки або інші ландмарки), місця підвищеного радіоелектромагнітного випромінювання, що впливає на роботу девайсів.

Порівняння різночасових довідкових матеріалів, у т.ч. аерокосмічних знімків, має за мету збір у концентрованому вигляді коротких, але достатньо геоінформаційно ємних геоторіальних довідок про атмосферні, гідросферні, літосферні, антропогенні та нетрадиційні екологічні небезпеки в районі проведення рекогнос-тування. Відповідні додаткові (спеціальні) дані також наносяться на картографічну основу маршрутних пікетажних карт у середовищі геоінформаційних систем. До карти додається пояснювальна записка із деталізацією та експлікацією шляху.

Під час реалізації програм обсерваційного моніторингу довкілля контент відповідних електронних маршрутних карт використовують алгоритми рекогнос-тувального дослідження: польові/полігонні вивчення місцевості на наявність джерел забруднення. Відповідна процедура забезпечується таким інструментарієм геоінформаційних технологій:

- Android-застосунки: Geodezist, GPSStatusPro, Compass. Вони забезпечують безперебійність та точність визначення просторових координат об'єктів місцевості в форматі: широта, довгота, висота над рівнем моря. Формат файлу *.kml (планові значення)

та *.kmz (просторові значення) можна імпортувати та експортувати до мережі геопорталів інтернету: Google Map, Google Earth, Wikimapia, OpenStreetMap, Mappillary;

- портативні програми польової обробки полігонних досліджень: Nomenklatura, QuickMap, перетворювач координат;
- пакети геоінформаційної обробки: Surfer, ENVI, ArcGIS, QGIS, Panorama, GIS Autodesk Map, Microsoft Map [11].

Представимо функціонально-кореляційну блок-схему математичної моделі геоінформаційного рекогнос-тування – геоінтелектуальної системи прийняття екологічних рішень (рис. 1).

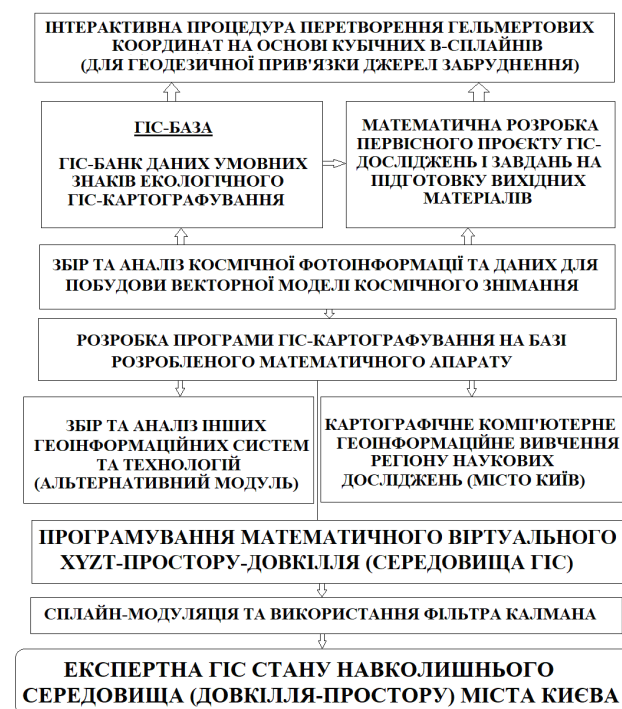


Рис. 1. Алгоритм проєктування архітектури алгоритму геоінформаційного рекогнос-тування

Експертна ГІС стану навколишнього середовища – це геоінформаційна система та програма, яка 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 [2].

Головна функціональність та технологічність геоінформаційної системи, що забезпечує її технологічну ефективність моніторингу довкілля-простору (на прикладі м. Києва), складається із таких компонентів: проектні значення екопотенціалу території м. Києва, отримане значення екопотенціалу території м. Києва, поправка за системний зсув пік селів (шум) на дисплейній карті та поправка за комп'ютерно-просторову редукцію – коефіцієнт продуктивності ГІС [9].

В алгоритмі є компоненти, що відображають розподілення основних похибок програмного забезпечення ГІС, що враховує потенціальні функціональні залежності за критерієм Гребса у просторі-часі. Була введена функція інтегрованої залежності екосистеми від дії закону енергетичної регенерації екосистем (закон оптимума) в часі [1, 3-5].

Досвід показує, що при комплексному математичному моделюванні матеріалів ГІС-досліджень із застосуванням сплайн-функцій, математичного та геометричного програмування при 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.

Відповідний алгоритм апробований у будівельній галузі, проєкті генерального міського планування м. Києва (визначення геологічних аномалій, небезпечних природних умов, антропогенних порушень природного потенціалу територій м. Києва). Цей метод був застосований при складанні екологічних карт м. Києва [6].

Вся геопросторова база даних змістовного навантаження отримується із джерел інфраструктури навігаційного забезпечення Близького Космосу – глобальних навігаційних систем місцевизначення та безпосередньо інтерпретуються у тематичних електронних картах просторового рекогносчування автоматизованими картографо-геодезичними та астрономо-навігаційними (супутниковими) е-маршрутизаторами [7].

Електронні (цифрові) маршрутизатори (далі – е-маршрутизатори) – основа роботи супутникових Smart-технологій геоінформаційного рекогносчування місцевості за даними цифрової аерокосмічної зйомки та Gadget-геодетики.

GPS/GIS-маршрутизатори – це цифрові обчислювальні пристрої, призначені для накопичення (акумуляції) та передачі екологічної інформації та автоматизованого обчислення рекогносчувального маршруту геоекоспорової розвідки територій антропогенного впливу. Схема типового рекогносчувального маршруту представлена на рис. 2.

В основу алгоритму та конструктивно-технологічної особливості роботи GPS/GIS-маршрутизаторів покладені формули аналітичного та графо-аналітичного обрахунку, в яких Земля приймається за рівномірну сферу радіусом R. Це призводить до виникнення методичної похибки у розрахунку координат, яка залежить від широти рекогносчувального маршруту на територіях, акваторіях або аероторіях. Вона має максимальні значення ондуляції до ±0,5% від шляху, що був пройдений. Максимум відповідної похибки буде в екваторіальних та навколо полярних зонах.

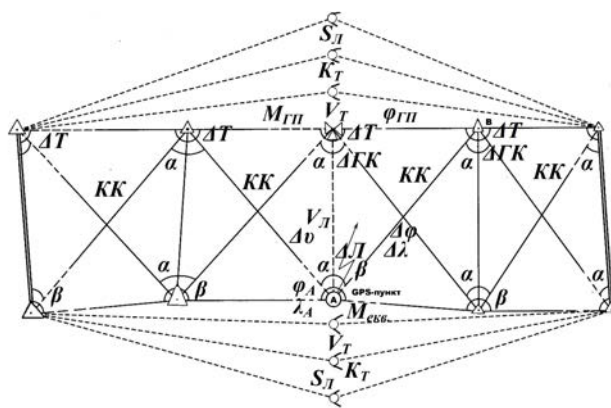


Рис. 2. Полігональний GPS-триангуляційний рекогносчувальний маршрут

В результаті розв’язання задачі геоінформаційного аналітичного обчислення е-маршрутизатором (рис. 2) обчислюються значення аналітичної широти ϕ_A та довготи λ_A місцеперебування (локалізації) у відповідності із наступної формули:

$$\begin{cases} \phi_A = \phi_0 + \Delta\phi \\ \lambda_A = \lambda_0 + \Delta\lambda \end{cases} \quad (1)$$

де ϕ_A та λ_A – координати точки рекогносчувального маршруту, в який був увімкнений е-маршрутизатор.

Для розрахунку різниці широт $\Delta\phi$ та різниці довгот $\Delta\lambda$ в е-маршрутизатор імпортується геоінформація про напрямок руху рекогносчувального маршруту, його середню швидкість, швидкості за лагом, а також дані про дрейф та течії, якщо це еколого-гідрографічна експедиція. Спосіб автоматичного та ручного введення геоінформації та її аналітика визначаються особливістю архітектури геоінтелектуальної системи (рис. 1, 2). У е-маршрутизаторі автоматичне обчислення здійснюється у відповідності до наступних формул:

$$\Delta\phi = \int_{t_1}^{t_2} [V_\lambda(1 + \Delta T)\cos(KK + \Delta GK + \alpha) + v_T \cos K_T] dt \quad (2)$$

$$\Delta\theta = \int_{t_1}^{t_2} [V_\lambda(1 + \Delta T)\sin(KK + \Delta GK + \alpha) + v_T \sin K_T] dt \quad (3)$$

$$\Delta\lambda = \int_0^{\Delta\theta} \sec \phi_T d\Delta\theta \quad (4)$$

В А-GPS (LBS)-маршрутизаторах відповідна технологічна задача розв’язується наступними формулами:

$$\Delta\phi = \int_0^{S_\lambda(1+\Delta T)(1+\Delta T)} \cos(KK + \Delta GK + \beta + \alpha) dS \quad (5)$$

$$\Delta\theta = \int_0^{S_\lambda(1+\Delta T)(1+\Delta T)} \sin(KK + \Delta GK + \beta + \alpha) dS \quad (6)$$

$$\Delta\lambda = \int_0^{\Delta\theta} \sec \phi_T d\Delta\theta \quad (7)$$

де, V_d – швидкість переміщення експедиції за лагом/азимуту руху;

ΔL – коригування лагу/азимуту) руху експедиції;

v_T – швидкість течії гідрологічного об'єкту (ріки, моря, океану);

K_T – азимут напрямку водної течії;

КК – компасний/гірокомпасний курс еколого-гідрографічної/маркшейдерської експедиції;

ΔGK – коригування компасу/гірокомпасу;

α – кут дрейфу/відхилення експедиції рекогностування;

β – кут відхилення від маршруту/кут зносу течією;

s_m – відстань рекогностувального маршруту за азимуту/лагом;

ΔT – коригування за швидкість за азимуту/лагом за рахунок топографічного відхилення експедиції/за рахунок течії (еколого-гідрографічного моніторингу).

Для геоінформаційного обчислення у середовищі геопорталу на планшеті е-маршрутизатора використовуються розрахунки $\Delta\phi$ (різниці широти) та $\Delta\theta$ (відходження). Відходження – термін з теорії морської геодезії, що позначає виражену в морських милях довжину дуги між меридіанами початкового та кінцевого пунктів місцезнаходження, яка відраховується за середньою паралелю. Кількісне значення величини відходження застосовується для аналітичного розрахунку пройденого шляху пов'язаного з пройденою відстанню через перетворення синусу дійсного азимуту/пеленгу. Воно може бути обчислено через добуток різниці довготи меридіанів на косинус широти середньої паралелі [8].

Показники $\Delta\phi$ (різниці широти) та $\Delta\theta$ (відходження) трансформуються у поточний масштаб цифрової карти рекогностувального маршруту із наступними залежностями значень супутникового сигналу:

$$M_k = M_{екв} \cdot \sec \phi_A \quad (8)$$

0
або

$$M_k = \frac{M_{ГП}}{\sec \phi_{ГП}} \cdot \sec \phi_A \quad (9)$$

де, $M_{екв}$ – мірило за екватором;

$M_{ГП}$ – мірило за головною паралеллю;

$\phi_{ГП}$ – широта головної паралелі;

ϕ_A – поточна широта місцеположення.

При використанні в е-маршрутизаторі формули (8), екваторіальне мірило пікетажного журналу цифрової супутникової карти за показниками $M_{ГП}$ та $\phi_{ГП}$ алгоритмічно розраховується так:

$$M_{екв} = \frac{M_{ГП}}{\sec \phi_{ГП}} \quad (10)$$

Результат отримується автоматизовано та вводиться в масштабні опції спеціалізованої картоінформаційної/атласографічної системи в онлайн-режимі.

Якщо використовується формула (9), тоді в просторовий набір даних потрапляють лише показники

$M_{ГП}$ та $\phi_{ГП}$ з цифрової карти та ϕ_A – автоматично, при цьому додаткових автоматичних обрахувань система не потребує. У цьому випадку алгоритмічна схема перетворення космічного сигналу з GPS-супутника дещо змінюється, тому що враховується додаткова опція, яка розраховує екваторіальне мірило.

В усіх е-маршрутизаторах реалізована залежність, що відображена у формулі (8).

Після інтерпретації супутникових навігаційних даних у е-маршрутизаторах, постає задача визначення системних похибок координування. Похибки, що супроводжують розв'язання задач геоінформаційного обрахування за допомогою GPS-технологій, поділяються на три групи.

1) Похибки вхідних даних, як наслідок неточної роботи супутникового навігатора, електронного космічного гірокомпаса, лагу, а також похибок, які мали місце при визначенні їх коригування. До них також відносяться похибки неточності знання показників дрейфу (елементів течії) гідрографічних суден або руху експедиційних груп пустелями, в т.ч. арктичними/антарктичними, а також похибки вихідних реперних координат, які були введені до е-маршрутизатора в аналоговому режимі.

2) Похибки, що є наслідком заміни математичних моделей наближеними до конструктивного спрощення алгоритмів, які мають назву методичних похибок.

3) Похибки, які обумовлені технологічними особливостями роботи супутникових навігаційних систем: відхилення у допусках технічних параметрів обладнання е-маршрутизатора. До них відносяться неточності, що виникають в процесі тривалої експлуатації обладнання у несприятливих метеорологічних умовах, які мають назву інструментальних похибок.

Похибки автоматичного обчислення є результатом сумісного прояву всіх груп похибок і мають назву вихідних неточностей е-маршрутизатора. Найбільший вплив на величину вихідних похибок супутникового маршрутизатора мають неточності першої групи, які в свою чергу залежать від навколишнього природного середовища та космічної погоди. Тому точність роботи е-маршрутизатора оцінюється за величиною похибки визначення географічних та прямокутних геодезичних координат, що по собі є результатом сумісного прояву похибок другої та третьої групи.

Повірка роботи е-маршрутизатора називається компаруванням. Єдиним супутниковим компаратором на території м. Києва є Smart-компаратор на території факультету землевпорядкування Національного університету біоресурсів та природокористування (рис. 3). Діапазон області допустимих значень встановлений не більше десяти сантиметрів у метричній формі та пів соті минути для градусних вимірювань.



Рис. 3. Польовий GPS-компаратор м. Києва

Зупинимося на технології математичної обробки результатів супутникового компарування е-маршрутизатора або навігатора для потреб екологічного моніторингу. Критична похибка е-маршрутизатора (е-девайса) оцінюється величиною радіуса кола, центром якою є точка місцезоположення (локації). При цьому визначаються Gadget-координати місцезоположення, які вивітлюються на дисплеї в результаті розв’язання контрольної супутникової задачі. Результатом вирішення є множина геоданих, значення яких не повинні виходити за межі визначеного еліпсу або кола похибок зазначеного радіусу метричних та градусних допусків штатної роботи е-маршрутизатора та графічно позначається індикатрисними ізоколами. Величина цих похибок також інтерпретується у відсотках від відстані, яка пройдена рекогносрувальниками і складає діапазон від 0,6-1,0 %.

Допустимі похибки визначення різниці широт та довгот визначаються за формулою:

$$\delta S^2 = (\delta \Delta \phi)^2 + \left(\frac{\delta \Delta \lambda}{\sec \phi_A} \right)^2 \quad (11)$$

де $\delta \Delta \phi$ та $\delta \Delta \lambda$ – допустимі похибки у величинах різниці широт $\Delta \phi$ та різниці довгот $\Delta \lambda$; δS^2 – радіус кола критичних значень похибки визначення координат.

За приклад розглянемо напрямок руху екологічної рекогносрувальної експедиції на широті м. Києва ($\phi_A = c$). Критична похибка е-маршрутизатора $\delta S = 1 \%$. Відстань, яку пройшла експедиційна група – 10 км. Відстань визначена з електронної карти ГІС-системою, показує значення $\delta \Delta \phi = 0,045'$. Згідно з формулою (11) отримуємо значення:

$$\delta \Delta \lambda = \sec \phi_A \sqrt{\delta S^2 - \delta \Delta \phi^2} = \sec 50^\circ 27,2796' \sqrt{1^2 - 0,045^2} = 1,55 * 0,997 = 1,51 \quad (12)$$

Вихідна похибка е-маршрутизатора контролюється під час обсерваційного рекогносрування (еколого-топографічної або еколого-гідрографічної експедиції).

Для ведення контролю точності руху використовуються космічні ефемериди супутників GPS, які відображаються у планових координатах картографічної

проекції Г. Меркатора, масштаби якої приведені до екватора, а знаходяться в діапазонах 1 : 100 000 – 1 : 1 500 000. Під час організації еколого-гідрологічного та аеросферного моніторингу застосовуються електронні карти у тій же проекції з масштабним рядом 1 : 50 000 – 1 : 1 000 000 за головною паралеллю.

При укладанні абрисно-пикетажного електронного журналу руху експедиційної групи у ГІС передбачена можливість прокладання маршруту автоматично у постійному масштабі 1 : 50 000 та 1 : 25 000. Останній є більш зручним, тому що присутня мережа сітки координатних ліній, кроком в 1 см (рис. 4).

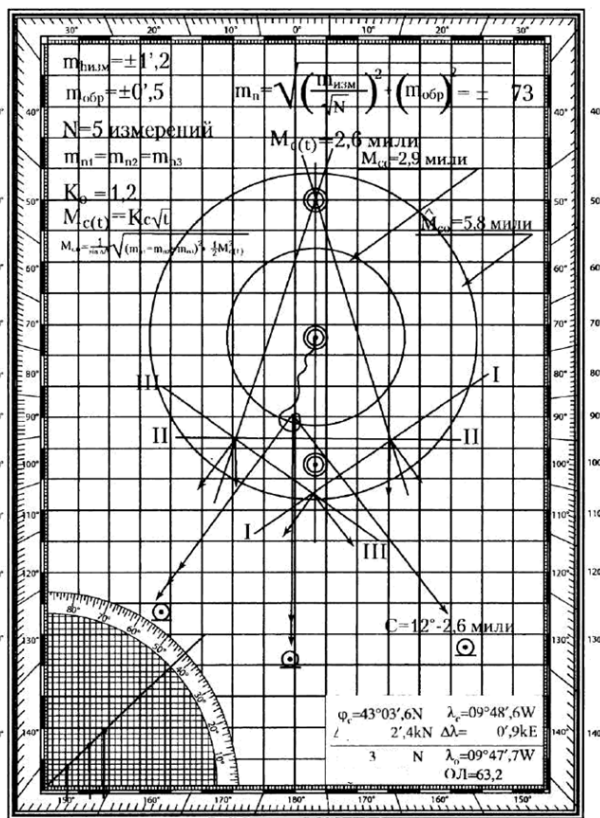


Рис. 4. Вигляд діалогового вікна е-маршрутизатора (дисплейна робоча карта)

Для забезпечення роботи е-маршрутизатора у постійному масштабі 1 : 50 000, необхідно встановити компонентну поточної широти, що дорівнює широті головної паралелі та ввести знаменник масштабу 1 : 50 000. При цьому припускається, що широта місця обсервації буде константною. Таке припущення є доцільним, тому що постійний масштаб застосовується у космічній (супутниковій) геодезії для запису руху орбіт на відповідній тематичній космокарті великого масштабу, коли зміна широти суттєво не відображається на величині поточного масштабу маршрутної космоекологічної карти. В сучасних супутникових маршрутизаторах руху застосовуються опції, що дозволяють зменшувати знаменник постійного масштабу карти від 1 : 50 000

до 1 : 5 000. Карта має вигляд в азимутальній картографічній проекції (рис. 5).

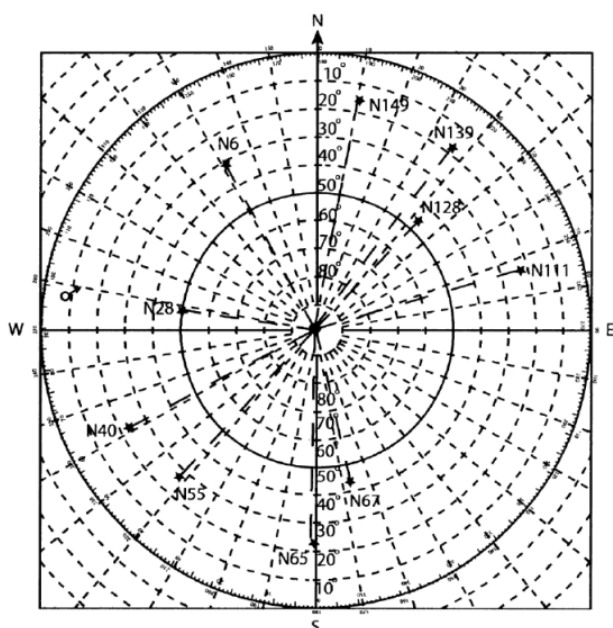


Рис. 5. Азимутальна (циркумплярна) проекція обсервації у е-маршрутизаторі із демонстрацією концентричних індикатрисних ізоколів із значеннями реперних контрольних точок (опознаків): N28, N55, N111 тощо

Супутниковий електронний маршрутизатор має різні опційні компоненти для візуалізації графічного обчислення напрямків рекогносцирувальних маршрутів у постійному масштабі за даними супутників GPS. У випадку відповідної необхідності запису руху у крупному картографічному масштабі, необхідно застосовувати наступний ітераційний прийом. В опції масштабних рядів е-маршрутизатора необхідно встановити знаменник екваторіального масштабу $C_{\text{екв.}} = 100\,000$. Потім увімкнути значення азимута та встановити значення середньої швидкості переміщення рекогносцирувальної групи $V_{\text{max}} = 10$ км/год. Поточна широта ϕ_A , необхідна для розрахунку необхідного звітного масштабу C_A , який розраховується за формулою:

$$\cos \phi_A = \frac{C_A}{C_{\text{екв.}}} * \frac{V_{\text{max}}}{V} \quad (12)$$

де V – фактична швидкість рекогносцирувальної експедиції.

За необхідності отримання масштабу, що не входить до загально-класифікаційної схеми номенклатури карт, виникає необхідність зручності представлення геопросторових даних, приміром, у масштабі 1 : 18 520 (базовий геоінформаційний масштаб). При збереженні фактичної швидкості кроку руху рекогносцирування з показником 40 км/год, автоматично визначається показник широти за формулою (12). В результаті визначається спеціальне значення

широти, яку необхідно ввести до е-маршрутизатора. Наприклад, для м. Києва цей показник відповідає $\phi_A = 50^{\circ}15'$. Це значення середньої головної паралелі, що проходить через місто. При зміні швидкості руху експедиції та застосуванні Dron/BIM-технологій, для збереження сталості масштабу необхідно змінювати і показник ϕ_A . Для визначення уточненого значення фактичної швидкості руху, поряд із астрономо-геодезичними методиками застосовуються цифрові космічні засоби навігації. Насамперед, це Gadget-застосунки для девайсів, що працюють на платформах Android та iOS (рис. 6).

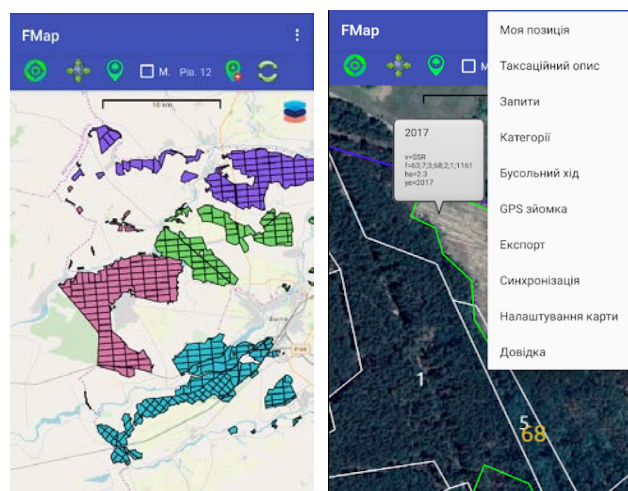


Рис. 6. Інженерне меню GPS-геодетики FMap «Карта лісів України»

В результаті застосування сформульованих методик, за яким проведено еколого-природоохоронне рекогносцирування м. Києва, укладена картографічна модель кореляції територіальної системи інфраструктури обсервації довкілля та типів патогенного природокористування у місті (рис. 7).

Головні висновки. Сформульований математичний алгоритм роботи електронного маршрутизатора та діджиталізації технологій автоматизованого визначення координат потенційно-небезпечного антропогенного об'єкта або локації виникнення надзвичайної ситуації природно-техногенного характеру. Розроблений, впроваджений та апробований експериментальний полігон еколого-природоохоронного рекогносцирування та екологічної просторової розвідки в межах м. Києва. Визначені картоінформаційні особливості представлення та візуалізації тематичної екологічної інформації.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати наукових досліджень знайшли практичне застосування у Державній установі «Держгідрографія». В роботу е-маршрутизатора інстальована просторова інформація про нові типи об'єктів інфраструктури дистанційного екологічного моніторингу на водних просторах – віртуальні гідрографічні ландшафти. Це

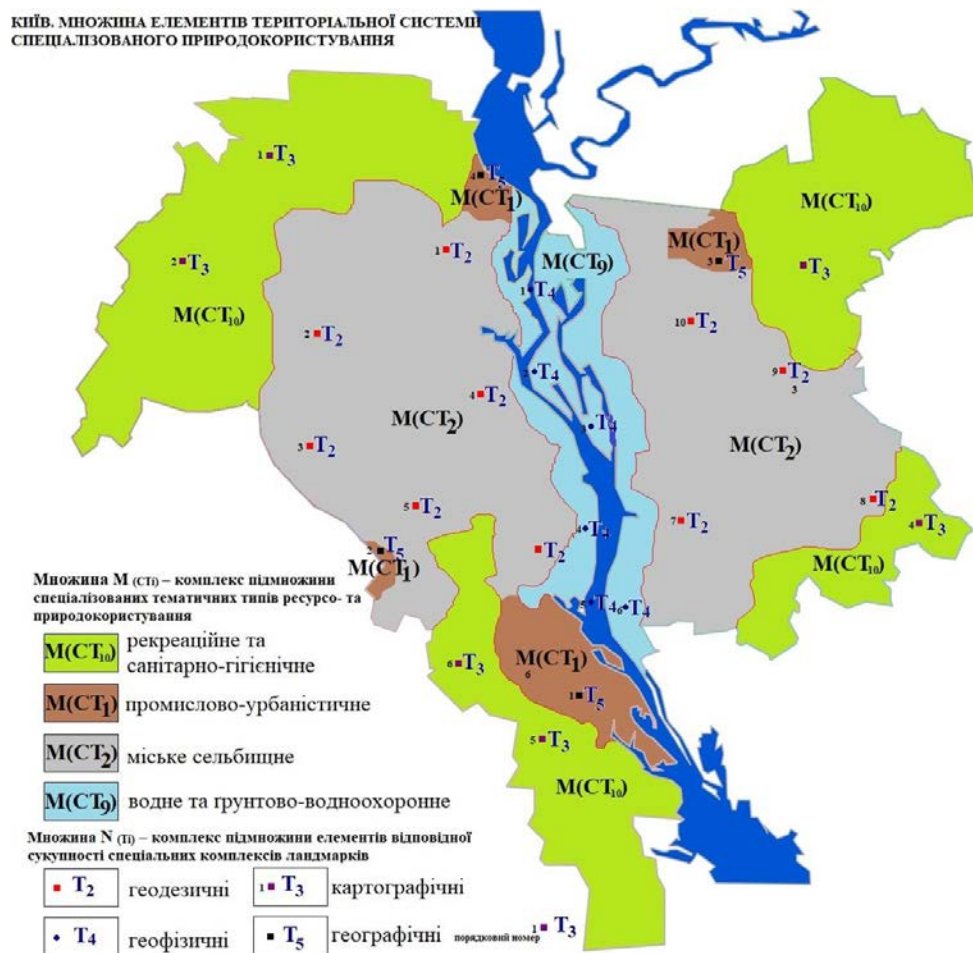


Рис. 7. Ідентичність типів природокористування та обсерваційного ландшафту на території м. Києва

створює технічні умови для інтеграції технологій діджиталізації захисту довкілля в управління моніторингом рівнів екологічної безпеки та опера-

тивного визначення ризиків антропогенного впливу на геоторіях, акваторіях, аероторіях за допомогою технологій Космосфери.

Література

- Бойко Е.В., Кленицький Б.М. Построение, уравнение и оценка точности космических геодезических сетей. М.: Недра, 1982. С. 18-22.
- Дульцев А.Т., Цюпак І.М. Методичні вказівки до лабораторної роботи на тему Визначення координат пункту за вимірними псевдо відстанями, отриманими з GPS – спостережень. Львів: ДУ Львівська політехніка. 1997. 20 с.
- Краснокрылов И. И., Плахов Ю.В. Основы космической геодезии. М.: Недра. 1976. С. 124-135.
- Літнарів Р.М. Теорія ряду парних ланок засічок, який прокладається між пунктами визначеними по системі GPS. Інженерна геодезія. Вип. 45. 2001. С. 141-148.
- Літнарів Р.М. Розрахунок попередніх координат пунктів при створенні планової геодезичної основи методом парних ланок засічок. Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 57. 1996. С. 40-48.
- Мороз О.І., Терещук О.І., Щербань І.Б. Будова, основні частини та принципи роботи з тотальною станцією. Львів: ДУ Львівська політехніка. 2000. 13 с.
- Тищенко А.П. Геометрические методы космической геодезии. М.: Наука, 1971. С. 212-213.
- Шандабылов В.Д. Кораблеводные. М. 1972. С. 135-139.
- Шевченко Р.Ю., Денисюк Б.І., Суховірський Б.І. Математична модель геоінформаційної системи «Екологія Києва». Інженерна геодезія. 2002. Вип. 46. С. 324-337.
- Шевченко Р.Ю. Геоінформаційне рекогностування місцевості за даними цифрової аерокосмічної зйомки та Smart-геодетики. Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі: матер. VI міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 22-23.04.2021 р.). Київ: КНУКіМ. 2021. С. 136-139.
- Шевченко Р.Ю. Розробка маршруту екологічного рекогностування місцевості на предмет природних та техногенних небезпек. Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України: тези доп. VII всеукр. заоч. наук.-практ. конф. (Київ, 28.04.2021 р.). Київ. 2021. С. 130.