

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ КАРТ ЗМІН МІСЦЕВОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ARCGIS

*У статті розглянуто питання вдосконалення технології створення карт змін місцевості із застосуванням геоінформаційних систем, зокрема програмного забезпечення ArcGIS, в умовах зростання обсягів геопросторових даних та підвищених вимог до оперативності геопросторової підтримки військ (сил). Актуальність дослідження зумовлена необхідністю своєчасного оновлення топографічної інформації в умовах динамічних змін природного та антропогенного середовища, а також у контексті сучасних бойових дій, що характеризуються високою мінливістю обстановки. Встановлено, що традиційні методи створення карт змін місцевості, які базуються на використанні паперових карт і ручному внесенні змін, не забезпечують необхідного рівня оперативності, точності та інтеграції різнорідних джерел геопросторової інформації. Обґрунтовано доцільність переходу до використання геоінформаційних систем як основи автоматизації процесів збору, обробки, аналізу та оновлення просторових даних.*

*Методичну основу дослідження становлять методи геоінформаційного моделювання, просторового аналізу, обробки растрових і векторних даних, а також аналіз сучасних підходів до виявлення змін місцевості. Доведено ефективність інтеграції багатоджерельних геоданих, зокрема аерофотознімків, космічних зображень, LiDAR-даних, електронних карт і результатів геодезичних вимірювань. Запропоновано удосконалену технологічну схему створення карт змін місцевості, яка передбачає використання електронної чергової карти, інтеграцію різнорідних джерел даних, виконання аналізу змін, автоматизовану векторизацію та формування цифрового картографічного продукту. Визначено переваги застосування ArcGIS, зокрема підвищення оперативності обробки даних, зменшення трудомісткості робіт та забезпечення топологічної коректності просторових даних. Практичне значення результатів полягає у можливості їх використання для підвищення ефективності геопросторової підтримки військ (сил), скорочення часу оновлення картографічної інформації та підвищення якості прийняття управлінських рішень.*

*Ключові слова: геоінформаційна система, геопросторові дані, геопросторова підтримка, ArcGIS, LiDAR, карта змін місцевості, дистанційне зондування Землі, геоприв'язка растрових даних, оновлення топографічних карт.*

**Вступ та постановка проблеми.** У сучасних умовах стрімкого розвитку геоінформаційних технологій особливого значення набуває питання оперативного створення та оновлення топографічних карт та карт змін місцевості [1, 3, 17, 18]. Такі карти використовуються для оцінювання змін природного середовища, моніторингу забудови, транспортної інфраструктури, лісових масивів, гідрографії, а також для потреб геопросторової підтримки військ (сил) [19].

Зростання обсягів геопросторових даних, що надходять із різних джерел, зокрема дистанційного зондування Землі, безпілотних авіаційних систем та геодезичних вимірювань, призводить до необхідності їх оперативної обробки та інтеграції [2]. У цих умовах традиційні підходи до оновлення картографічної інформації втрачають ефективність, оскільки не забезпечують своєчасності прийняття рішень, особливо у сфері військового управління.

Крім того, сучасні бойові дії характеризуються високою динамікою змін обстановки, що вимагає постійного оновлення геопросторових даних. Це обумовлює необхідність переходу від статичних карт до динамічних геоінформаційних моделей місцевості. Традиційна технологія створення карт змін місцевості ґрунтується на використанні паперових топографічних карт, тиражних відбитків та ручного нанесення змін. Такий підхід характеризується значними витратами часу, високою трудомісткістю та ризиком виникнення помилок. Перехід до використання сучасних геоінформаційних систем дає можливість

автоматизувати значну частину операцій, пов'язаних зі збором, аналізом, оновленням та відображенням просторових даних.

ArcGIS є однією з найбільш функціонально розвинених геоінформаційних платформ, що забезпечує підтримку обробки растрових і векторних даних, інтеграцію матеріалів дистанційного зондування Землі, автоматизовану векторизацію, побудову цифрових моделей рельєфу та створення електронних карт різного тематичного навантаження [8].

Важливою особливістю сучасного етапу розвитку геоінформаційних технологій є перехід від використання окремих картографічних продуктів до створення інтегрованих геоінформаційних середовищ, які забезпечують безперервне оновлення даних. У таких умовах карта змін місцевості розглядається не як кінцевий продукт, а як динамічна модель, що постійно уточнюється. Особливої актуальності це набуває у військовій сфері, де достовірність і своєчасність геопросторової інформації безпосередньо впливають на ефективність прийняття рішень. Затримка або неточність даних може призвести до помилок у плануванні операцій та використанні ресурсів.

Незважаючи на значну кількість досліджень у даній сфері, питання формалізації процесу створення карт змін місцевості та кількісної оцінки ефективності використання геоінформаційних систем залишаються недостатньо розробленими та потребують удосконалення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання створення та оновлення топографічних карт та карт змін місцевості досліджувалися у працях українських і зарубіжних науковців [1-5]. Значна увага приділяється використанню дистанційного зондування Землі, супутникових та аерофотознімків, LiDAR-технологій, а також методів автоматичного виявлення змін [6, 7, 11-16]. Сучасні дослідження свідчать, що використання LiDAR-зйомки дозволяє отримувати високоточні цифрові моделі рельєфу та виявляти навіть незначні зміни поверхні місцевості [7]. Дослідники відзначають, що багаточасові цифрові моделі рельєфу, створені за матеріалами LiDAR, забезпечують високу деталізацію змін та дозволяють автоматизувати процес їх виявлення. В останні роки значного поширення набули методи автоматичного виявлення змін на основі алгоритмів глибокого навчання, нейронних мереж та просторово-часового аналізу супутникових зображень. Водночас практична реалізація таких методів потребує використання потужних геоінформаційних платформ, здатних забезпечити інтеграцію різних типів даних та автоматизацію робочих процесів.

Разом з тим, аналіз наукових публікацій показує, що більшість досліджень зосереджена на окремих аспектах процесу створення цифрових карт, таких як обробка даних дистанційного зондування або побудова цифрових моделей рельєфу. Питання комплексної інтеграції різнорідних джерел даних у межах єдиного геоінформаційного середовища розглядаються недостатньо. Також недостатньо уваги приділяється практичним аспектам впровадження таких технологій у діяльність військових підрозділів, зокрема з урахуванням обмежень часу, ресурсів та необхідності забезпечення сумісності геопросторових даних.

Порівняльний аналіз функціональних можливостей різних прикладних програм для роботи з геопросторовими даними показує, що програмне забезпечення ArcGIS найбільш повно відповідає вимогам до створення та оновлення карт змін місцевості, оскільки поєднує можливості редагування векторних карт, роботи з растровими даними, побудови цифрових моделей рельєфу, автоматизованого оформлення картографічних матеріалів та ведення баз геоданих [8-10].

Таким чином, існуючі підходи до створення карт змін місцевості характеризуються фрагментарністю та орієнтацією на окремі технологічні етапи. Недостатньо дослідженим залишається питання побудови цілісної технологічної схеми, яка б забезпечувала ефективну інтеграцію різних джерел геопросторових даних та їх використання в єдиному інформаційному середовищі.

**Метою статті** є обґрунтування шляхів удосконалення технології створення карт змін місцевості із застосуванням програмного забезпечення ArcGIS та розроблення практичних рекомендацій щодо інтеграції сучасних джерел геоданих, автоматизації процесів обробки та підвищення точності картографічної продукції.

Наукова новизна дослідження полягає у формалізації технологічного процесу створення карт змін місцевості із застосуванням ArcGIS та удосконаленні підходу до інтеграції багатоджерельних геопросторових даних.

**Виклад основного матеріалу.** Основою удосконаленої технології створення карт змін місцевості є використання електронної чергової карти замість паперових топографічних матеріалів. Усі зміни вносяться безпосередньо до тематичних шарів електронної карти, що дозволяє забезпечити оперативність оновлення та зменшити ймовірність дублювання інформації.

На відміну від паперових карт, електронна чергова карта дозволяє забезпечити багаторазове оновлення інформації без втрати якості та накопичення похибок. Крім того, цифровий формат забезпечує можливість паралельної роботи декількох користувачів, що є важливим у випадку обробки великих обсягів даних. Важливим аспектом є також можливість збереження історії змін, що дозволяє аналізувати динаміку розвитку об'єктів та виконувати ретроспективні дослідження. Використання електронної чергової карти дозволяє реалізувати принцип централізованого зберігання та оновлення геопросторових даних. Це забезпечує узгодженість інформації між різними користувачами та виключає дублювання даних, що є характерним для традиційних підходів. Крім того, цифровий формат карти створює передумови для автоматизації процесів аналізу змін, що значно підвищує ефективність роботи виконавців та знижує ймовірність помилок.

Джерелами інформації про зміни місцевості та розташування об'єктів можуть виступати різноманітні види геопросторових даних, зокрема цифрові або скановані аерофото- та космічні знімки, електронні й паперові картографічні матеріали, що надходять від відповідних установ та організацій, результати геодезичних вимірювань (у тому числі отримані з використанням апаратури, яка забезпечує фіксацію даних на магнітних або оптичних носіях), а також інформація, отримана від розвідувальних підрозділів, спеціалізованих служб, органів місцевого самоврядування та цивільних структур. Таким чином, до процесу оновлення залучається максимально повний обсяг доступних даних різного походження. Внесення змін здійснюється оператором у інтерактивному середовищі редактора карти інструментальної геоінформаційної системи (далі – ГІС) та виконується виключно в межах листів чергової електронної карти, що створена в системі координат WGS-84 та системі цілевказання MGRS [17–18].

Використання великої кількості джерел даних потребує їх узгодження за просторовими, часовими та тематичними характеристиками. Невідповідність координатних систем, різна точність та актуальність даних можуть призводити до виникнення помилок при їх інтеграції. Тому важливим завданням є попередня стандартизація та перевірка якості вхідних даних, що дозволяє забезпечити коректність подальшого аналізу змін місцевості.

Електронні варіанти складального та видавничого оригіналів карти за змістом є тотожними як між собою, так і відповідним тематичним шарам чергової карти, відрізняючись лише особливостями графічного оформлення (зокрема, встановленою кольоровою схемою для окремих об'єктів) та типом носія при виведенні на матеріальну основу. За таких умов процес їх формування може бути оптимізований шляхом копіювання змісту відповідного шару чергової карти до новостворених шарів електронної карти з подальшим виконанням їх стильового оформлення. Подальші етапи технологічного процесу створення карти змін місцевості загалом відповідають підходам, що застосовуються в традиційній технології. Методика внесення змін визначається типом вихідних даних. У випадку використання сканованих або цифрових растрових аерофотознімків, попередньо трансформованих і геоприв'язаних до системи координат векторного шару електронної чергової карти, оновлення здійснюється шляхом автоматизованої або напівавтоматизованої векторизації растру, а також методом цифрування за растровою підкладкою. Процес векторизації виконується для окремих об'єктів або їх фрагментів, виділених на растровому зображенні (наприклад, ділянок відновленої дорожньої мережі). Виявлені зміни вносяться до попередньо сформованого тематичного шару чергової карти, що відповідає векторній моделі території оновлення. Аналогічні підходи застосовуються у випадках, коли джерелом

інформації є скановані паперові картографічні матеріали, на основі яких створено растрові карти для відповідного району робіт.

Якість результатів векторизації безпосередньо визначається характеристиками вихідного зображення, зокрема його роздільною здатністю та рівнем контрастності. Відповідно, використання сучасних засобів редагування карт забезпечує можливість часткової або повної автоматизації процесів збору та нанесення змін за матеріалами аерофотознімання або растровими цифровими картами.

У разі, коли джерелом вихідної інформації є електронна векторна карта, редагування об'єктів (створення, видалення, трансформація геометрії) здійснюється у середовищі геоінформаційних систем із використанням спеціалізованих інструментів редактора. Функціональні можливості редактора дозволяють виконувати як індивідуальні операції редагування, так і обробку об'єктів у груповому режимі, наприклад під час видалення або копіювання наборів елементів, виділених у межах відповідного тематичного шару. Усі зміни, внесені до об'єктів, включаючи їх попередній стан, автоматично фіксуються в системі, що забезпечує можливість відновлення редагованих елементів у разі виникнення помилок або програмно-апаратних збоїв. У процесі створення, модифікації або видалення геометрії об'єктів можуть бути задіяні додаткові режими, спрямовані на підтримку топологічної узгодженості просторових даних, зокрема забезпечення коректності спільних точок, меж і відношень суміжності між об'єктами як в межах одного, так і різних шарів карти. Забезпечення топологічної коректності даних є важливим елементом створення якісної карти змін місцевості. Порушення топології може призвести до помилок у подальшому аналізі, зокрема при визначенні взаємного розташування об'єктів. Тому використання інструментів контролю топології є обов'язковим етапом при редагуванні векторних даних.

Сучасні геоінформаційні програмні засоби забезпечують підтримку не лише геометричної складової просторових даних, але й функціонування реляційних баз даних, у яких зберігаються якісні та кількісні характеристики об'єктів карти у вигляді атрибутивної інформації. У випадках, коли на етапі створення об'єкта відсутня необхідність у введенні атрибутивних даних, програмні засоби редагування дозволяють тимчасово відключити відповідні запити, при цьому обов'язкові параметри автоматично заповнюються значеннями, встановленими за замовчуванням у системі. За потреби геоінформаційні системи надають можливість розширення структури атрибутивних даних шляхом додавання нових характеристик (полів у таблицях атрибутів), а також виконання зв'язку з зовнішніми базами даних. Зазначені можливості є особливо важливими в процесі створення карт змін місцевості, зокрема під час формування підписів об'єктів у випадках використання довідкових джерел або даних, отриманих від різних організацій чи органів місцевого самоврядування. Це, наприклад, актуально при оновленні власних назв населених пунктів. Використання інструментів автоматизованого формування підписів на основі значень атрибутивних таблиць дозволяє суттєво прискорити відповідні процеси, а в окремих випадках - забезпечити їх повну автоматизацію. Крім того, функціональні можливості сучасних ГІС включають засоби генерації вибірок, що створює передумови для автоматизації підготовки формулярів та супровідної документації.

Інтеграція атрибутивної інформації з просторовими даними дозволяє створювати комплексні інформаційні моделі місцевості. Це відкриває можливості для виконання складних аналітичних запитів, зокрема оцінки змін функціонального призначення територій або аналізу інфраструктурних об'єктів. Отже, використання функціональних можливостей сучасного програмного забезпечення геоінформаційних систем для реалізації методики автоматизованого створення карт змін місцевості забезпечує суттєве підвищення ефективності відповідних процесів. Зокрема, це дозволяє:

- трансформувати зміст операцій, пов'язаних із внесенням змін, формуванням підписів та перенесенням інформації між різними варіантами картографічних оригіналів, а також значно скоротити терміни створення оперативного оновлених карт;

- усунути необхідність використання тиражних відбитків топографічних карт у процесі виготовлення одиничних примірників або малих накладів спеціалізованих картографічних продуктів;

- підвищити загальну якість виконання робіт і точність відображення змін місцевості.

Далі доцільно розглянути послідовність виконання робіт зі створення електронної карти району дослідження на основі сканованих картографічних матеріалів відповідно до удосконаленої технологічної схеми (рис. 1).

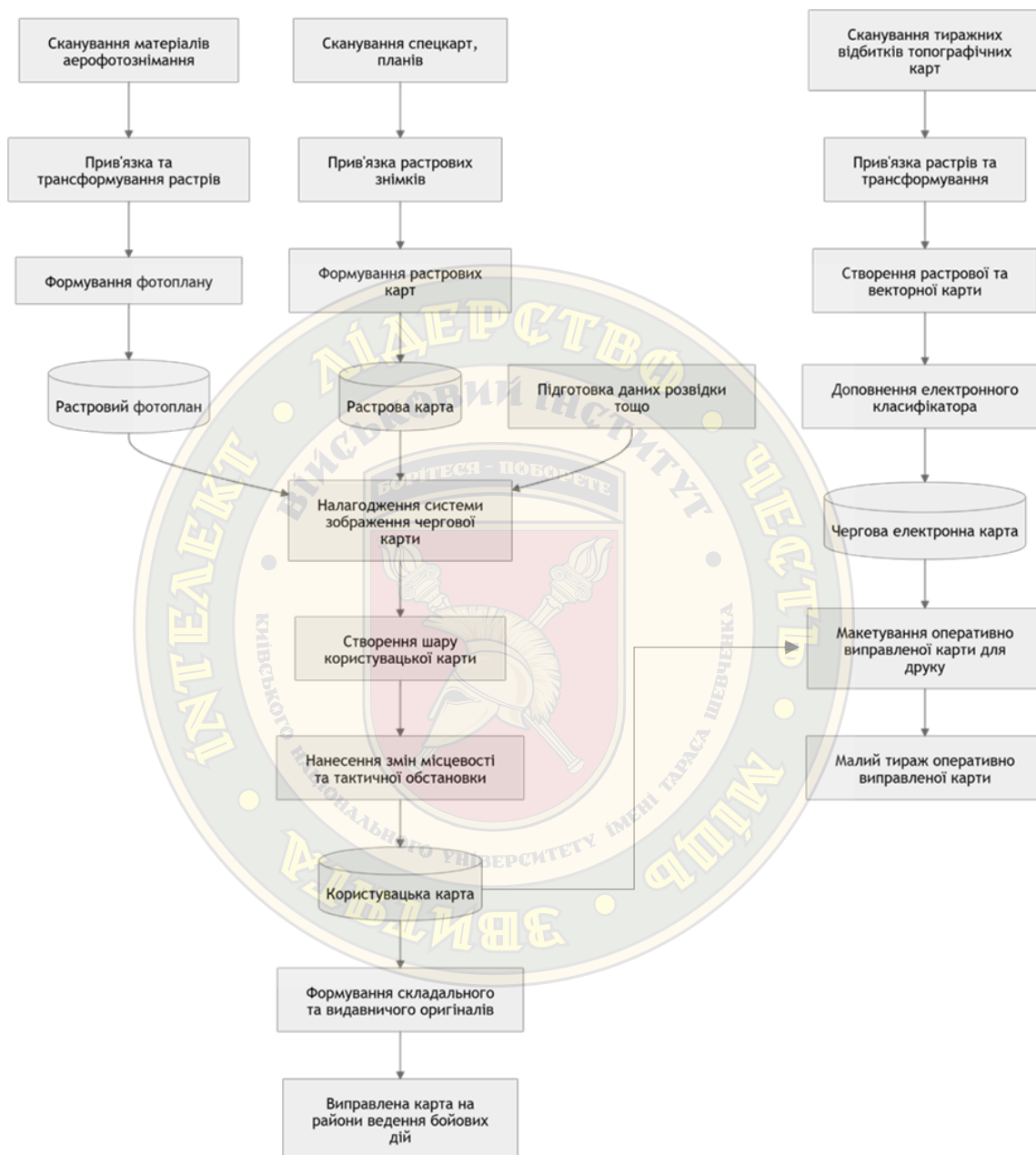


Рисунок 1 – Удосконалена технологічна схема створення карти змін місцевості із застосуванням інструментальної ГІС

Растрове зображення, завантажене в середовище ArcGIS, саме по собі не може розглядатися як повноцінна растрова карта, оскільки воно не містить просторово-координатної прив'язки. Лише після виконання процедури геоприв'язки таке зображення набуває статусу вимірювального документа та може використовуватися як самостійний інформаційний ресурс або у взаємодії з іншими геопросторовими даними. У середовищі ArcGIS обробка растрових даних здійснюється у внутрішньому форматі RSW. Водночас

растрові дані, представлені в інших форматах (зокрема PCX, BMP, TIFF), можуть бути попередньо перетворені до цього формату для подальшого використання. Існують два основних підходи до завантаження растрових зображень у систему: відкриття їх як окремих документів або інтеграція у вже створений проєкт (векторну, растрову чи комбіновану карту).

Процес геоприв'язки є важливим етапом обробки растрових даних, оскільки визначає точність їх подальшого використання. Вибір методу трансформування залежить від масштабу карти, якості вихідних матеріалів та доступності опорних точок. Помилки на етапі прив'язки можуть накопичуватися та призводити до суттєвих відхилень у визначенні координат об'єктів, що особливо критично при використанні даних у військових цілях.

Важливим аспектом підвищення точності геоприв'язки є також правильний вибір методу трансформування залежно від характеру вихідних даних. Для рівномірно деформованих зображень доцільно використовувати афінні або поліноміальні перетворення, тоді як для складних випадків, пов'язаних із локальними спотвореннями, ефективнішими є методи spline-трансформації. Застосування адекватного методу трансформування дозволяє мінімізувати геометричні викривлення та забезпечити відповідність просторового положення об'єктів їх реальному розташуванню.

Окрім цього, необхідно враховувати вплив людського фактора на результати геоприв'язки. Неправильний вибір або неточне встановлення опорних точок може призвести до систематичних помилок, які складно виявити на початкових етапах обробки. У зв'язку з цим доцільним є використання автоматизованих інструментів підбору контрольних точок, а також проведення повторної перевірки результатів із залученням декількох операторів або незалежних джерел даних.

Не менш важливим є забезпечення узгодженості координатних систем та проєкцій при роботі з різними джерелами геопросторової інформації. Використання різних геодезичних датумів або картографічних проєкцій без належної трансформації може призвести до значних просторових зсувів. Тому перед виконанням геоприв'язки необхідно виконувати уніфікацію координатних систем і перевірку параметрів трансформування, що дозволяє забезпечити коректність інтеграції даних у єдиному геоінформаційному середовищі.

Геоприв'язка растрової карти здійснюється в межах документа, що функціонує у визначеній системі координат. Виконання прив'язки растрового зображення можливе за допомогою одного з методів, доступних через інструмент налаштувань (вікно "Властивості" діалогового інтерфейсу "Список растрів") у середовищі ArcGIS. Під час створення великомасштабних планів на основі вихідних картографічних матеріалів доцільним є застосування трансформації за кутовими точками рамки картографічного аркуша. Для дрібномасштабних електронних карт (масштаб дрібніше 1:50 000) з метою підвищення точності відображення растрових даних рекомендується виконувати трансформацію з урахуванням точок деформації (прогину) рамки. У випадках, коли рамка аркуша на растровому зображенні відсутня або збережена частково, трансформація може здійснюватися за опорними точками, що однозначно ідентифікуються на зображенні. Виконання трансформації можливе за наявності достовірних координат щонайменше чотирьох точок, а також за двома точками з використанням режиму масштабування та обертання. Поєднання зазначених підходів дозволяє реалізувати двоетапну процедуру геоприв'язки растрових даних [8, 10].

У випадку формування растрової карти на основі зображення, що складається з окремих фрагментів і не відповідає стандартному поділу на картографічні аркуші (зокрема, при пофрагментному скануванні великого зображення за допомогою вузькоформатного сканера), доцільно застосовувати метод послідовної геоприв'язки окремих растрових фрагментів до вже прив'язаного растрового зображення.

Для формування растрового району з набору окремих растрових зображень необхідно попередньо створити векторну модель району робіт, яка за своїм складом номенклатурних аркушів відповідає структурі растрового покриття, після чого до неї додаються трансформовані растрові дані. Процедура створення векторного району робіт передбачає ініціалізацію карти або плану із заповненням відповідних параметрів у діалогових вікнах,

зокрема типу електронної карти, масштабу, проєкції та системи координат, а також характеристик поділу на аркуші (номенклатури, назв аркушів, координат рамок). Для топографічних карт зі стандартною номенклатурою ці параметри визначаються автоматизовано.

Геоприв'язка растрових зображень, аерофотознімків або космічних знімків у середовищі ArcGIS здійснюється залежно від наявності вихідної інформації про знімок: або за сукупністю опорних точок, або із використанням елементів зовнішнього орієнтування (за умови відомих параметрів знімання, таких як тип знімка та фокусна відстань). За необхідності можливе формування растрового району (фотоплану) шляхом об'єднання окремих попередньо оброблених знімків. Трансформоване растрове зображення автоматично зберігається в системі разом із параметрами виконаного трансформування, що забезпечує його коректне відображення при подальшому додаванні до векторної карти району робіт та автоматичне орієнтування растру [8].

Процес оновлення топографічної карти передбачає внесення змін до окремого тематичного шару електронної карти (у термінології ArcGIS – користувачський шар або карта). Такий шар формується при активній базовій (черговій) електронній карті, причому до нього автоматично імпортується електронний класифікатор базового шару. Зазначений класифікатор у цифровому вигляді містить структуру шарів векторної карти, коди об'єктів і відповідні їм умовні позначення, а також перелік стандартних семантичних характеристик і можливих значень атрибутів. Умовні позначення об'єктів можуть бути реалізовані у двох варіантах: для відображення на екрані та для виведення на друкуючі пристрої або плотери [8, 9].

У середовищі ArcGIS реалізовано електронні класифікатори топографічної інформації для карт і планів масштабів від 1:500 до 1:10 000, а також для карт масштабів від 1:25 000 до 1:1 000 000. У процесі оновлення топографічних карт такі класифікатори використовуються для визначення складу об'єктів та відповідних їм умовних позначень. Під час створення цифрових карт і планів спеціального призначення доцільним є розроблення нових або модифікація існуючих класифікаторів з метою відображення специфічних умовних позначень. У зв'язку з цим у середовищі редактора класифікатора було сформовано електронну базу спеціальних тактичних умовних знаків, що застосовуються у Збройних Силах України [17].

Незважаючи на значні переваги використання ArcGIS, слід враховувати ряд обмежень. До них належать вимоги до обчислювальних ресурсів, необхідність підготовки кваліфікованого персоналу, а також залежність результатів від якості вихідних даних. Крім того, в умовах обмеженого доступу до актуальних даних або їх фрагментарності ефективність запропонованої технології може знижуватися. Це вимагає розроблення підходів до роботи з неповними або застарілими даними.

**Висновки.** В результаті проведеного дослідження встановлено, що традиційна технологія створення карт змін місцевості, яка базується на використанні паперових топографічних матеріалів і ручного нанесення змін, не відповідає сучасним вимогам щодо оперативності, точності та ефективності обробки геопросторових даних. Її застосування супроводжується значною трудомісткістю, ризиком виникнення помилок та обмеженими можливостями інтеграції різномірних джерел інформації.

Обґрунтовано доцільність переходу до використання геоінформаційних систем, зокрема програмного забезпечення ArcGIS, як базового інструменту створення карт змін місцевості. Встановлено, що застосування електронної чергової карти як основи технологічного процесу дозволяє забезпечити централізоване накопичення, зберігання та оновлення геопросторових даних, а також підвищити узгодженість інформації між різними користувачами. Доведено, що інтеграція різномірних джерел геоданих, таких як аерофотознімки, космічні зображення, матеріали LiDAR-зйомки, електронні карти, геодезичні вимірювання та дані польових спостережень, створює передумови для підвищення повноти та достовірності відображення змін місцевості. Водночас поєднання різних джерел дозволяє компенсувати обмеження кожного з них та забезпечити комплексний аналіз просторової інформації.

Використання автоматизованих і напіваавтоматизованих методів обробки даних у середовищі ArcGIS сприяє суттєвому зменшенню трудомісткості процесів векторизації та нанесення змін, а також підвищенню точності картографічної продукції. При цьому найбільш ефективним є поєднання автоматизованих інструментів із контролем з боку оператора, що забезпечує баланс між швидкістю виконання робіт і якістю результатів.

Узагальнення результатів дослідження дозволило сформуванню удосконалену технологічну схему створення карт змін місцевості, яка включає формування електронної чергової карти, інтеграцію багатоджерельних даних, виконання аналізу змін, їх векторизацію та формування кінцевого картографічного продукту. Запропонована схема відображає взаємозв'язок основних етапів обробки геопросторової інформації та забезпечує можливість їх часткової або повної автоматизації. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування запропонованих підходів для підвищення ефективності оновлення топографічних карт, створення оперативних картографічних матеріалів та вдосконалення системи геопросторової підтримки діяльності військових органів управління. Використання сучасних геоінформаційних технологій дозволяє скоротити час доведення актуальної інформації до підрозділів, підвищити якість геопросторових даних та забезпечити їх відповідність сучасним вимогам.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розвитком методів автоматичного виявлення змін на основі даних дистанційного зондування Землі, впровадженням технологій машинного навчання, а також удосконаленням інтеграції геоінформаційних систем у єдині інформаційно-аналітичні середовища геопросторової підтримки.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Лазоренко-Гевель Н., Карпінський Ю., Кінь Д. Особливості створення (оновлення) цифрових топографічних карт для формування основної державної топографічної карти // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2021. Вип. I (41). С. 113–122. DOI: <https://doi.org/10.33841/1819-1339-1-41-113-122>
2. Коренець О., Підлісецька І., Литвиненко Н., Курач Т. Особливості створення векторної геопросторової бази даних для використання в геоінформаційному порталі Збройних Сил України // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. 2024. № 4(60). С. 66–71. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2024.60.66-71>
3. Молочко А., Хірх-Ялан В. Розрахунок коефіцієнтів змін стану місцевості для автоматизації планування робіт по оновленню цифрових топографічних карт // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. 2017. № 1(36). С. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2017.36.23-29>
4. Belhaj Ali A., Hamza M. H. Updating Traditional 1:50 000 Topographic Maps Using Crowd-Sourced Geodata and Free Sources Satellite Images // Journal of Geographic Information System. 2021. Vol. 13, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.4236/jgis.2021.132015>
5. Likhva N. Digital Topographic Mapping in Ukraine: Current State, Challenges, and Development Prospects // European Science. 2025. Vol. 1, No. sge40-01. P. 57–92. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2025-40-01-014>
6. Wang H., Wu M. Urban change detection of remote sensing images via deep-feature extraction // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Article 21473. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07252-7>
7. Jung M., Jung J. A scalable method to improve large-scale LiDAR topographic differencing results // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, No. 17. P. 4289. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15174289>
8. ArcGIS Pro Documentation. Redlands: Esri Press, 2024. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/resources>
9. ArcGIS Defense Mapping: What's New. 2024. URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/defense/defense/whats-new-in-arcgis-defense-mapping-december-2024>
10. Three Key Trends in Imagery and Remote Sensing from Esri UC 2023. 2023. URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis/imagery/three-key-trends-in-imagery-and-remote-sensing-from-esri-uc-2023>
11. Asokan A., Anitha J. Change detection techniques for remote sensing applications: A survey // Earth Science Informatics. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12145-019-00380-5>

12. Bai T., Wang L., Yin D., Sun K., Chen Y. Deep learning for change detection in remote sensing: A review // *Geo-spatial Information Science*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/10095020.2022.2085633>
13. Khelifi L., Mignotte M. Deep learning for change detection in remote sensing images // *IEEE Access*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000973>
14. Wang L., Zhang M., Gao X., Shi W. Advances and challenges in deep learning-based change detection for remote sensing images // *Remote Sensing*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16050804>
15. Liu B., Song W., Meng Z., Liu X. Review of land use change detection: A method combining machine learning and bibliometric analysis // *Land*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12051050>
16. Ali A., Bilal M. A comprehensive review of GIS and remote sensing applications in assessing land use and land cover impacts on groundwater systems // *Environmental Science and Pollution Research*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36787-5>
17. Інструкція зі створення оригіналів спеціальних карт і фотодокументів про місцевість у світовій геодезичній системі WGS-84: затв. наказом командувача Сил підтримки Збройних Сил України від 24.05.2024 № 95а. Київ: КСП ЗСУ, 2024. 110 с.
18. Інструкція зі створення оригіналів топографічних карт у світовій геодезичній системі WGS-84, картографічній проекції Меркатора (UTM), системі цілеуказання MGRS масштабів 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000: затв. наказом Міністерства оборони України від 18.09.2023 № 563/нм. Київ: КСП ЗСУ, 2023. 213 с.
19. Доктрина геопросторової підтримки Збройних Сил України: затв. наказом начальника Генерального штабу Збройних Сил України від 05.05.2023. Київ: КСП ЗСУ, 2023. 48 с.

## REFERENCES:

1. Lazorenko-Hevel, N., Karpinskyi, Yu. and Kin, D. (2021), "Osoblyvosti stvorennia (onovlennia) tsyfrovyykh topohrafichnykh kart dlia formuvannia osnovnoi derzhavnoi topohrafichnoi karty" [Features of creation (updating) of digital topographic maps for the formation of the main state topographic map], *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*, No. 1 (41), pp. 113–122. DOI: <https://doi.org/10.33841/1819-1339-1-41-113-122>
2. Korenets, O., Pidlisetska, I., Lytvynenko, N. and Kurach, T. (2024), "Osoblyvosti stvorennia vektornoї heoprostorovoї bazy danykh dlia vykorystannia v heoinformatsiinomu portali Zbroinykh Syl Ukrainy" [Features of creating a vector geospatial database for use in the geoinformation portal of the Armed Forces of Ukraine], *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viiskovo-spetsialni nauky*, No. 4(60), pp. 66–71. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2024.60.66-71>
3. Molochko, A. and Khirikh-Yalan, V. (2017), "Rozrakhunok koefitsiientiv zmin stanu mistsevosti dlia avtomatyzatsii planuvannia robit po onovlenniu tsyfrovyykh topohrafichnykh kart" [Calculation of terrain change coefficients for automation of planning works on updating digital topographic maps], *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viiskovo-spetsialni nauky*, No. 1(36), pp. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2017.36.23-29>
4. Belhaj Ali, A. and Hamza, M.H. (2021), "Updating traditional 1:50,000 topographic maps using crowd-sourced geodata and free satellite imagery", *Journal of Geographic Information System*, Vol. 13, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.4236/jgis.2021.132015>
5. Likhva, N. (2025), "Digital topographic mapping in Ukraine: current state, challenges, and development prospects", *European Science*, Vol. 1, No. sge40-01, pp. 57–92. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2025-40-01-014>
6. Wang, H. and Wu, M. (2025), "Urban change detection of remote sensing images via deep-feature extraction", *Scientific Reports*, Vol. 15, Article 21473. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07252-7>
7. Jung, M. and Jung, J. (2023), "A scalable method to improve large-scale LiDAR topographic differencing results", *Remote Sensing*, Vol. 15, No. 17, p. 4289. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15174289>
8. Esri (2024), *ArcGIS Pro documentation*, Available at: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/resources>
9. Esri (2024), *ArcGIS Defense Mapping: What's new*, Available at: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/defense/defense/whats-new-in-arcgis-defense-mapping-december-2024>
10. Esri (2023), *Three key trends in imagery and remote sensing from Esri UC 2023*, Available at: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis/imagery/three-key-trends-in-imagery-and-remote-sensing-from-esri-uc-2023>

11. Asokan, A. and Anitha, J. (2019), "Change detection techniques for remote sensing applications: a survey", *Earth Science Informatics*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12145-019-00380-5>
12. Bai, T., Wang, L., Yin, D., Sun, K. and Chen, Y. (2023), "Deep learning for change detection in remote sensing: a review", *Geo-spatial Information Science*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10095020.2022.2085633>
13. Khelifi, L. and Mignotte, M. (2020), "Deep learning for change detection in remote sensing images", *IEEE Access*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000973>
14. Wang, L., Zhang, M., Gao, X. and Shi, W. (2024), "Advances and challenges in deep learning-based change detection for remote sensing images", *Remote Sensing*. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16050804>
15. Liu, B., Song, W., Meng, Z. and Liu, X. (2023), "Review of land use change detection: a method combining machine learning and bibliometric analysis", *Land*. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12051050>
16. Ali, A. and Bilal, M. (2025), "A comprehensive review of GIS and remote sensing applications in assessing land use and land cover impacts on groundwater systems", *Environmental Science and Pollution Research*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36787-5>
17. Komanduvannia Syl pidtrymky Zbroinykh Syl Ukrainy (2024), *Instruktsiia zi stvorennia oryhinaliv spetsialnykh kart i fotodokumentiv pro mistsevist u svitovii heodezychnii systemi WGS-84 [Instruction on the creation of original special maps and photodocuments of terrain in the WGS-84 geodetic system]*, Kyiv, 110 p.
18. Ministerstvo oborony Ukrainy (2023), *Instruktsiia zi stvorennia oryhinaliv topografichnykh kart u svitovii heodezychnii systemi WGS-84... [Instruction on the creation of original topographic maps in the WGS-84 geodetic system...]*, Kyiv, 213 p.
19. Heneralnyi shtab Zbroinykh Syl Ukrainy (2023), *Doktryna heoprosorovoi pidtrymky Zbroinykh Syl Ukrainy [Doctrine of geospatial support of the Armed Forces of Ukraine]*, Kyiv, 48 p.
- 20.

PhD Korenets O., Lukianchuk A.

## IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR CREATING TERRAIN CHANGE MAPS USING ARCGIS SOFTWARE

*The article addresses the issue of improving the technology for creating terrain change maps using geographic information systems, in particular ArcGIS software, under conditions of increasing volumes of geospatial data and growing requirements for the timeliness of geospatial support of military forces. The relevance of the study is обусловлена the need for the prompt updating of topographic information in the context of dynamic changes in the natural and anthropogenic environment, as well as within the framework of modern combat operations characterized by a high degree of situational variability. It has been established that traditional approaches to terrain change mapping, based on the use of paper maps and manual updating, do not meet current requirements in terms of efficiency, accuracy, and the integration of heterogeneous geospatial data sources. The expediency of transitioning to geographic information systems as a foundation for automating data collection, processing, analysis, and updating processes is substantiated.*

*The methodological basis of the study includes geoinformation modeling, spatial analysis, raster and vector data processing, as well as the analysis of modern approaches to terrain change detection. The effectiveness of integrating multi-source geospatial data, including aerial imagery, satellite images, LiDAR data, digital maps, and geodetic measurements, has been demonstrated. An improved technological framework for terrain change mapping is proposed, which involves the use of a digital base (duty) map, integration of heterogeneous data sources, change analysis, automated vectorization, and the generation of a digital cartographic product. The advantages of using ArcGIS are identified, including increased data processing efficiency, reduced labor intensity, and ensuring the topological consistency of spatial data.*

*The practical significance of the results lies in their potential application for enhancing the effectiveness of geospatial support for military forces, reducing the time required for updating cartographic information, and improving the quality of decision-making processes.*

**Keywords:** *geographic information system, geospatial data, geospatial support, ArcGIS, LiDAR, terrain change mapping, remote sensing, raster georeferencing, topographic map updating.*