

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ГІС, ДЗЗ І GPS В ЗАДАЧАХ МОНІТОРІНГУ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

*Національний авіаційний університет, Київ, Україна

***Анотація.** Зроблено аналіз інтеграційних процесів у технологіях ГІС, ДЗЗ і GPS. Сформульовано необхідність інтеграції. Описано моделі інтеграції, наведено приклади практичної інтеграції ГІС, GPS і ДЗЗ.*

***Ключові слова:** інтеграція, ГІС, ДЗЗ, GPS.*

***Аннотация.** Сделан анализ интеграционных процессов в технологиях ГИС, ДЗЗ и GPS. Сформулирована необходимость интеграции. Описаны модели интеграции, приведены примеры практической интеграции ГИС, GPS и ДЗЗ.*

***Ключевые слова:** интеграция, ГИС, ДЗЗ, GPS.*

***Abstract.** The analysis of integration processes in GIS, ERS and GPS technologies was done. The necessity of integration was formulated. The models of integration were described; the examples of practical integration of GIS, ERS and GPS were given.*

***Keywords:** integration, GIS, ERS, GPS.*

1. Вступ. Постановка проблеми

У розвитку наукових і технічних дисциплін можна спостерігати дві тенденції: спеціалізацію і інтеграцію. Відкриття нових принципів, винахід нових технологій часто спричиняють відділення нових, вузько спеціалізованих дисциплін. Проте, як тільки ці дисципліни досягають певного розвитку, їх досягнення виявляються затребуваними в інших галузях, настає етап інтеграції [1]. Не є виключенням у цьому процесі і науки про Землю – геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та система глобального позиціонування (англ. Global Positioning System – GPS).

Однією з актуальних задач при моделюванні в ГІС є оцінка можливості інтеграції даних GPS, ДЗЗ і ГІС при проведенні моніторингу стану навколишнього середовища.

Метою роботи є аналіз можливості інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ та GPS в задачах моніторингу стану навколишнього середовища.

2. Виклад основного матеріалу

Технології ГІС спочатку мали інтеграційний аспект, оскільки інтегрують просторову й описову (атрибутивну) інформацію і дозволяють отримати важливу вихідну основу – інтегровану модель території, яка є передумовою прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Індустрія ГІС активно залучає нові віяння, змінюється, еволюціонує і розвивається, що є індикатором того, що галузь має величезний потенціал. Отже, є всі підстави вважати, що і в подальшому ГІС будуть продовжувати свій динамічний розвиток, забезпечуючи своїх користувачів усе новими і новими можливостями.

Розвиток ГІС засвідчив, що вищенаведене – не єдиний їх інтегруючий аспект. У результаті розвитку технологій баз даних виявилось можливим використовувати стандартні системи керування базами даних (СКБД) як сховища просторової і атрибутивної інформації. Сучасні СКБД можуть зберігати і мультимедійні дані, а ГІС – їх використовувати.

Треба відзначити, що ГІС не тільки виявилися якісним "інтегратором", але й самі стали об'єктом інтеграції.

Розвиток технології визначення координат за допомогою супутників (GPS) і масове розповсюдження приймачів GPS призвели до інтеграції GPS і мобільних ГІС. Приклад тому – геоінформаційний додаток ArcPad розробки ESRI для надолонних комп'ютерів (PDA). А дані GPS тепер все частіше використовуються як джерело координатно ув'язаної інформації для ГІС.

Важко не помітити і прогрес в інтеграції традиційних ГІС і технологій ДЗЗ. ГІС використовуються для планування і організації аерознімальних, для ведення каталогів аерокосмічних знімків. Одночасно системи обробки ДЗЗ є важливим постачальником даних для ГІС. Наприклад, система ERDAS IMAGINE вже давно не просто обробляє зображення, але й здатна інтегрувати з ними дані векторних ГІС.

Інтеграція ДЗЗ і ГІС відбувається за трьома основними напрямками:

- ДЗЗ як джерело актуальних і точних даних для ГІС;
- ГІС як джерело допоміжних даних для ДЗЗ;
- спільне використання даних ДЗЗ і ГІС для моделювання й аналізу.

Одна із основних тенденцій у розвитку ДЗЗ – поява нового покоління оптико-електронних космічних апаратів (КА) надвисокого розрізнення. Їх основними відмітними особливостями є безпрецедентна продуктивність, а також можливість одержання даних з просторовим розрізненням не гірше 50 см.

В останні роки чітко позначилися основні тенденції в розвитку технологій ДЗЗ: збільшення просторового розрізнення і продуктивності космічних апаратів, створення супутників або угруповань, що спеціалізуються на розв'язку певних задач (картографічних, моніторингових тощо), більш активне використання радарних знімків. Все це безпосередньо позначається на структурі і об'ємі ринку даних ДЗЗ: підвищується якість продукції, що надається споживачам, і одночасно, за рахунок збільшення на орбіті кількості супутників і конкуренції, значно знижується вартість даних, постійно зростають архіви знімків, зокрема, території України.

Подальший прогрес у галузі ДЗЗ зумовлений розвитком технологій обробки і доведення до споживача у потрібному йому вигляді усе зростаючих об'ємів даних, а також з побудовою комплексних систем оперативного моніторингу.

Особливе значення зі зростанням активного використання космічних знімків набувають задачі обробки й аналізу даних ДЗЗ, автоматизації процесу підготовки картографічних матеріалів тощо. За останні декілька років можливості програмних продуктів для розв'язку цих задач істотно покращилися. На ринку пропонуються високотехнологічні рішення як з обробки й аналізу даних ДЗЗ, так і з інтеграції отриманої інформації в ГІС. Для цих цілей використовується різне програмне забезпечення – INPHO (повнофункціональна фотограмметрична система), ENVI (програмний комплекс для обробки даних ДЗЗ і їх інтеграції з даними ГІС); MicroStation (професійна САД-система з повнофункціональними геоінформаційними можливостями від компанії Bentley Systems) тощо. Треба також відзначити, що зростаючий об'єм даних ДЗЗ з супутників і збільшення кількості користувачів зумовили розробку принципово нових видів надання просторової інформації споживачам – нових сервісів, що забезпечують мультикористувацький доступ до даних. Це, наприклад, сервіс від компанії DigitalGlobe Image-Connect, який є унікальним розширенням до програмного забезпечення ГІС і який дозволяє завантажити космічні зображення з супутників Quick-Bird і WorldView-1 у програмне середовище користувача безпосередньо з архіву компанії DigitalGlobe. При цьому відбувається миттєве відображення супутникових даних у програмному забезпеченні замовника з автоматичним перетворенням у потрібну проекцію (встановлену у програмі на момент відбору даних). Сьогодні сервіс Image-Connect є доступним для користувачів ESRI (ArcGIS 9.x і 10), MapInfo Professional, Autodesk (Map 3D, Land Desktop, Raster Design, Civil 3D і AutoCAD).

Отже, одночасно спостерігаються дві тенденції: інтеграція технологій GPS та ДЗЗ у ГІС і інтеграція технологій ГІС в GPS та ДЗЗ [2].

Питання інтеграції ДЗЗ і ГІС знайшли відображення в літературі [3–5], де була розглянута необхідність інтеграції технологій ДЗЗ і ГІС на прикладі раціонального управління ресурсами територій. Через два роки у праці [4] була висунута ідея про необхідність застосування даних ДЗЗ користувачами ГІС. У праці [5] було розглянуте питання про виникнення похибок при передачі даних, їх аналізі і перетворенні та візуальному поданні.

3. Необхідність інтеграції

Геоінформаційна система (ГІС) – це система апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, створена для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання й образного відображення географічно координованих даних. Однак ці функції не можуть бути реалізовані в повному обсязі, якщо база даних ГІС є неповною, неточною або неактуальною.

У базі даних ГІС зберігаються як просторові дані (адміністративні кордони, межі землеволодінь, координати висот тощо), так і атрибутивні (типи земель, рослинності, покриття доріг, показники якості води тощо). Традиційно, просторові і тематичні дані пов'язуються таким чином, щоб забезпечувати топографічне або тематичне картографування. Однак ці карти є вторинними за походженням, тому містять певні похибки. По-друге, вони не спроможні надати всі характеристики, потрібні користувачу, через узагальнення картографічного зображення. По-третє, топографічні або тематичні карти швидко застарівають (стають неактуальними) через певні зміни на території. Ці обмеження ГІС можуть бути подолані за рахунок використання даних ДЗЗ і GPS.

Аерокосмічні знімки є первинними даними і здатні надати більш точні й актуальні дані, ніж ті, що отримані за допомогою топографічних і тематичних карт, а GPS є ефективним сучасним способом одержання координат просторових об'єктів.

Цифрові дані закодовані у вигляді пікселів-комірок (двовимірна матриця), що відповідають величині сили відбитого електромагнітного випромінювання. Зображення повинні бути розташовані певним чином відносно геодезичної сітки, інакше дані, які вони несуть, не можуть бути віднесені до визначеного місця. Виникла потреба у тісному поєднанні дистанційного зондування з картографією земної поверхні та тематичною картографією. Це стало можливим завдяки здатності ГІС до введення, аналізу просторової інформації та її відображення.

ДЗЗ надає актуальні і точні просторові і тематичні дані для функціонування ГІС. Аерокосмічний знімок, цифровий або аналоговий, містить дані у своїй власній системі координат. Ці координати повинні бути переведені в загальну референцну систему координат або в універсальну систему, якщо об'єкт або явище досліджуються за великою кількістю зображень, або якщо ці дані повинні просторово перекриватись даними з інших джерел.

Позиціонування вимагає певного геометричного контролю на землі. Традиційно, геометрична прив'язка знімків ДЗЗ здійснюється за топографічними картами, оскільки вони є найбільш доступними і просторово коректними. Однак топографічні карти виявляються безплідними в областях, де не представлені вузлові поворотні пункти або картографічне зображення піддалося корінним змінам з моменту публікації карти. Для цього випадку можуть бути використані технології GPS як ефективна альтернатива для одержання просторових даних в універсальній системі координат. Точкові, лінійні або полігональні дані можуть отримуватись у реальному часі або наближеному до нього. Дані опорних точок в обраних поворотних пунктах можуть бути використані для прив'язки аерокосмічних зображень на поверхні досліджуваної території. Проте дані GPS, навіть отримані на площині, не спроможні жодним чином замінити аерокосмічний знімок полігональних даних у 2D форматі.

Наведене свідчить, що технології ДЗЗ, ГІС, GPS внутрішньо доповнюють одна одну за своїми первинними функціями. Кожна з наведених технологій має свої обмеження. Проте при їх інтеграції відбувається синергетичний ефект, який дозволяє розширити галузі їх застосування. Наприклад, інтеграція GPS, ДЗЗ і ГІС у сполученні з наземними системами моніторингу виявилась надзвичайно ефективним засобом управлінського аналізу й одержання просторових даних для регіонального управління водними ресурсами [8]. Така інтеграція необхідна для ефективних методів вибіркового застосування пестицидів і добрив, підвищення ефективності землеробства і зменшення впливу на навколишнє середовище [9, 10].

Результати інтеграції перед усім необхідні для управління ресурсами і моніторингу навколишнього середовища, прийняття рішень при виникненні надзвичайних ситуацій і оперативного картографування.

Інтеграція даних ДЗЗ, GPS і ГІС в загальному випадку може відбуватись за чотири моделі: лінійною, діалоговою, ієрархічною і комплексною. Лінійна інтеграція є найбільш загальним випадком. Ієрархічна інтеграція найбільш доцільна при застосуванні у прецизійному землеробстві і моделюванні навколишнього середовища. Комплексна інтеграція найбільш доцільна в умовах невизначеності, надзвичайних ситуаціях і оперативному картографуванні.

Лінійна модель інтеграції

У цій моделі потік даних від GPS лінійно надходить до ДЗЗ і потім до ГІС (рис. 1).

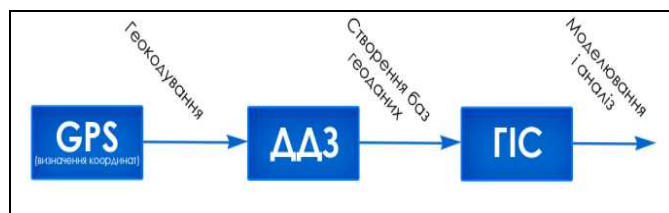


Рис. 1. Лінійна модель інтеграції

У цьому випадку унікальні можливості кожної системи використовуються максимально. Технології GPS використовуються для одержання геометричної прив'язки для аерокосмічного зображення. Після первинної обробки та інтерпретації виправлені дані ДЗЗ інтегруються у

базі даних ГІС.

Лінійна структура моделі передбачає, що три компоненти цієї моделі мають різні пріоритети. ГІС у цій моделі відіграє домінуючу роль, оскільки саме тут виконується весь просторовий аналіз. Відповідно, система GPS є підпорядкованою і її роль полягає у наданні позиційних даних. У базі ГІС дані, що надійшли від GPS, є непомітними через відсутність прямого зв'язку між GPS і ГІС. У цій моделі технології GPS є обслуговуючими, з'єднувальною перемичкою між ДЗЗ та іншими даними в базі даних ГІС.

У цій моделі інтеграція даних GPS з ДЗЗ відбувається у трьох часових режимах: синхронному, незалежному і режимі пост-обробки, який відбувається до інтеграції з ГІС.

Синхронна інтеграція зазвичай реалізується при використанні ДЗЗ одночасного запису від системи GPS, що встановлюється на носіїві апаратури ДЗЗ, для одержання позиційних параметрів і параметрів орієнтації сенсора [11]. Наприклад, система GPS здатна спрямувати дослідження вздовж рядків, спрямувати знімальну апаратуру у фіксованому інтервалі відстаней і записувати координати кожної фотографії [12]. Ці параметри використовуються для виправлення даних ДЗЗ або для триангуляції аерознімка.

Використання GPS дозволяє уникнути дорогих операцій для здійснення аеротриангуляції [13]. Інтеграція даних GPS і ДЗЗ дозволяє одержувати більше інформації, з меншим часом і зусиллями, досягаючи таким чином високої продуктивності.

Геоприв'язка відбувається за рахунок використання координат GPS, що реєструються незалежно від запису даних ДЗЗ.

Інтеграція даних ДЗЗ і GPS у режимі пост-обробки відбувається після того, як ДЗЗ будуть проаналізовані. Інтеграція ДЗЗ відбувається з даними GPS. Оцінка точності картографічних зображень земної поверхні вимагає перевірки координат просторових об'єктів наземними засобами [14].

Діалогова модель інтеграції

Діалогова модель дуже схожа на лінійну модель (рис. 2).

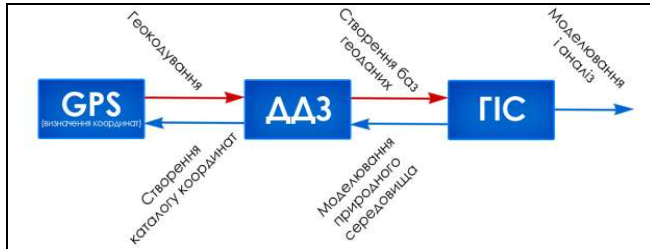


Рис. 2. Інтерактивна (діалогова) модель інтеграції

У цьому випадку потік даних циркулює між GPS і ДЗЗ і між ДЗЗ і ГІС в обох напрямках і передбачає, що остаточна задача інтеграції може бути виконана або в ГІС, або в ДЗЗ (в системі аналізу цифрового зображення, наприклад, ERDAS Imagine@.) У цьому випадку ДЗЗ вже не сприймається простим каналом передачі даних до ГІС.

Хоча є можливість отримання даних ДЗЗ з ГІС, більш загальним випадком є отримання даних ГІС з ДЗЗ. Діалоговий режим інтеграції в загальному випадку не дозволяє кількісно оцінювати відносну значимість даних ДЗЗ і ГІС, навіть у випадку, коли GPS як метод одержання даних вважається неістотним. На відміну від лінійної моделі, дані GPS можуть бути компенсовані у процесі попередньої і тематичної обробки в ДЗЗ, наприклад, дороги, що не розрізнялись на супутникових зображеннях через недостатню їх розрізненість [15]. У цьому випадку дані GPS проявляються в базі даних ГІС після інтеграції.

Інтеграція ДЗЗ з ГІС ґрунтується на виявленні змін земної поверхні за допомогою оверлейного аналізу за певний період [15, 16]. Інтеграція ГІС з ДЗЗ забезпечує спрощення сегментації об'єкта дослідження і її наступної класифікації для завантаження в базу даних ГІС. Впровадження додаткових даних, отриманих у процесі класифікації в ДЗЗ, дозволяє подолати традиційні обмеження, притаманні звичайній класифікації в ГІС, пов'язані з неоднорідністю зображення сцени і компенсуються топографічним ефектом. У будь-якому випадку отримується більш висока точність. Як наслідок, продукт, опрацьований в ДЗЗ, може бути інтегрований в ГІС для інших додатків, наприклад, оцінки відсотка непроникних і проникних поверхонь за допомогою оверлейного аналізу [11].

Ієрархічна модель інтеграції

Ієрархічна модель інтеграції передбачає два рівні інтеграції (рис. 3).



Рис. 3. Ієрархічна модель інтеграції

Перший рівень інтеграції (оверлей) відбувається між даними GPS і ДЗЗ. Додатково до вищенаведеного виправлення похибок ДЗЗ, за допомогою похідних координат GPS, скориговані дані ДЗЗ прив'язуються за даними GPS.

Оверлей дозволяє встановити зв'язок між просторовими і атрибутивними характеристиками зображення [17, 18]. Статистичні відношення між змінними можуть бути встановлені, наприклад, за

допомогою пакета прикладних програм для просторового аналізу S-Plus.

Другий рівень інтеграції (моделювання) передбачає використання даних ДЗЗ, ГІС у математичних моделях з результатами першого рівня інтеграції.

Задача просторового моделювання може бути здійснена на основі ДДЗ або ГІС, в залежності від формату даних. Обробка аерокосмічних зображень припускає моделювання в растровому форматі аналогічно моделюванню в ГІС.

Ця модель інтеграції не передбачає прямого зв'язку між ГІС і ДЗЗ. При цьому ДЗЗ домінує над ГІС, що ґрунтується на растрових додатках. ДДЗ надає первинні дані, необхідні для моніторингу, в той час, як ГІС забезпечує середовище моделювання.

Технології GPS відіграють допоміжну роль, оскільки на другому рівні інтеграції безпосередньо не використовуються.

Комплексна модель інтеграції

Комплексна модель інтеграції містить будь-які можливі зв'язки між будь-якими двома компонентами інтеграції і являє собою остаточний або загальний вид інтеграції між GPS, ДЗЗ і ГІС (рис. 4).

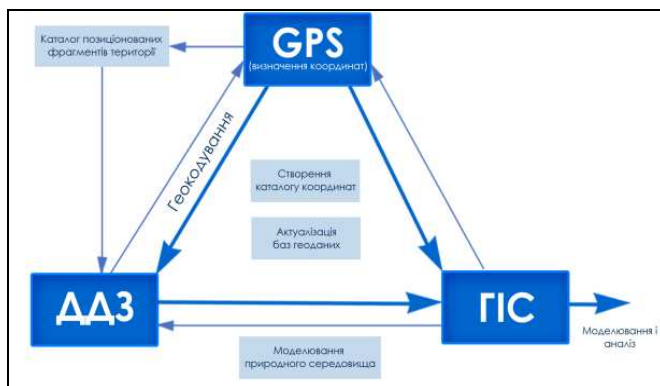


Рис. 4. Комплексна модель інтеграції

Додатково до зв'язків між компонентами трьох вищенаведених моделей інтеграції, ця модель передбачає взаємодію між GPS і ГІС. За цією моделлю дані GPS можуть бути безпосередньо експортовані до бази даних ГІС для наступного коригування або створення нової бази даних [19]. Цими даними можуть бути точкові, лінійні або полігональні об'єкти. Їх просторові (геометричні) характеристики повинні бути трансформовані до формату даних ГІС перед інтеграцією. Подібна

інтеграція необхідна в прецензійному землеробстві, де дані GPS-вимірювань використовуються для отримання координат, пов'язаних з прецензійним землеробством, а ГІС використовуються для інтеграції даних, їх збереження й аналізу [20, 21].

Інтеграція ГІС з GPS аналогічна інтеграції між ДЗЗ і GPS і запроваджується, коли результати моделювання ГІС стосуються земельних ділянок або коли формується великий обсяг просторової земельно-кадастрової інформації за результатами моделювання земельних ділянок.

Циклічна природа інтеграції за цією моделлю не дозволяє оцінити внесок кожної компоненти. Кожна з компонент (GPS, ДЗЗ, ГІС), що бере участь в інтеграції, може бути домінуючою, залежно від специфіки додатку, для якого вона використовується.

Приклад практичної інтеграції ГІС, GPS і ДЗЗ

Ступінь інтеграції ГІС, GPS і ДЗЗ залежить від практичного застосування геопросторової інформації, рівня її повноти, точності і потрібного інтервалу часу на її формування (рис. 5).

Для демонстрації можливостей даних ДЗЗ та ГІС при моніторингу змін довкілля на рис. 6 представлено моделювання підтоплення територій весняною повінню при 1, 5, 10, 25, 50% забезпеченості р. Десна в межах м. Чернігова.

Рельєф земної поверхні в цифровій моделі відображений у вигляді тривимірних даних як сукупності висотних позначок і записів горизонталей.

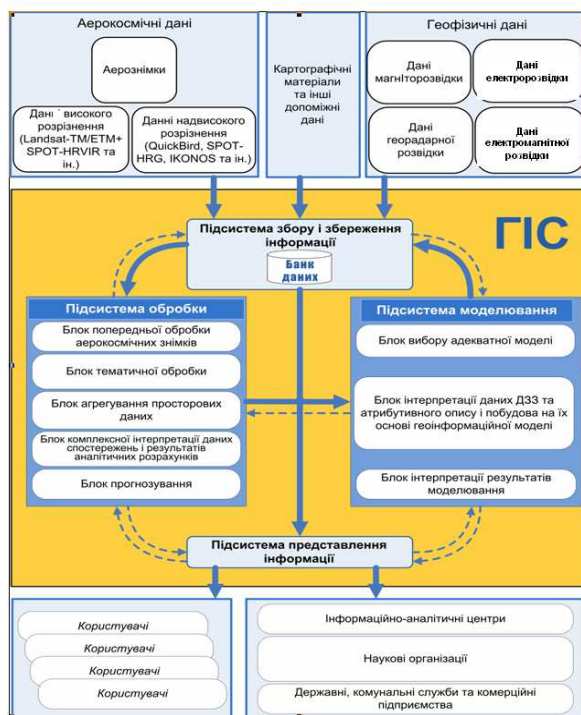


Рис. 5. Функціональна схема інтеграції технологій ГІС, GPS і ДЗЗ у системі моніторингу

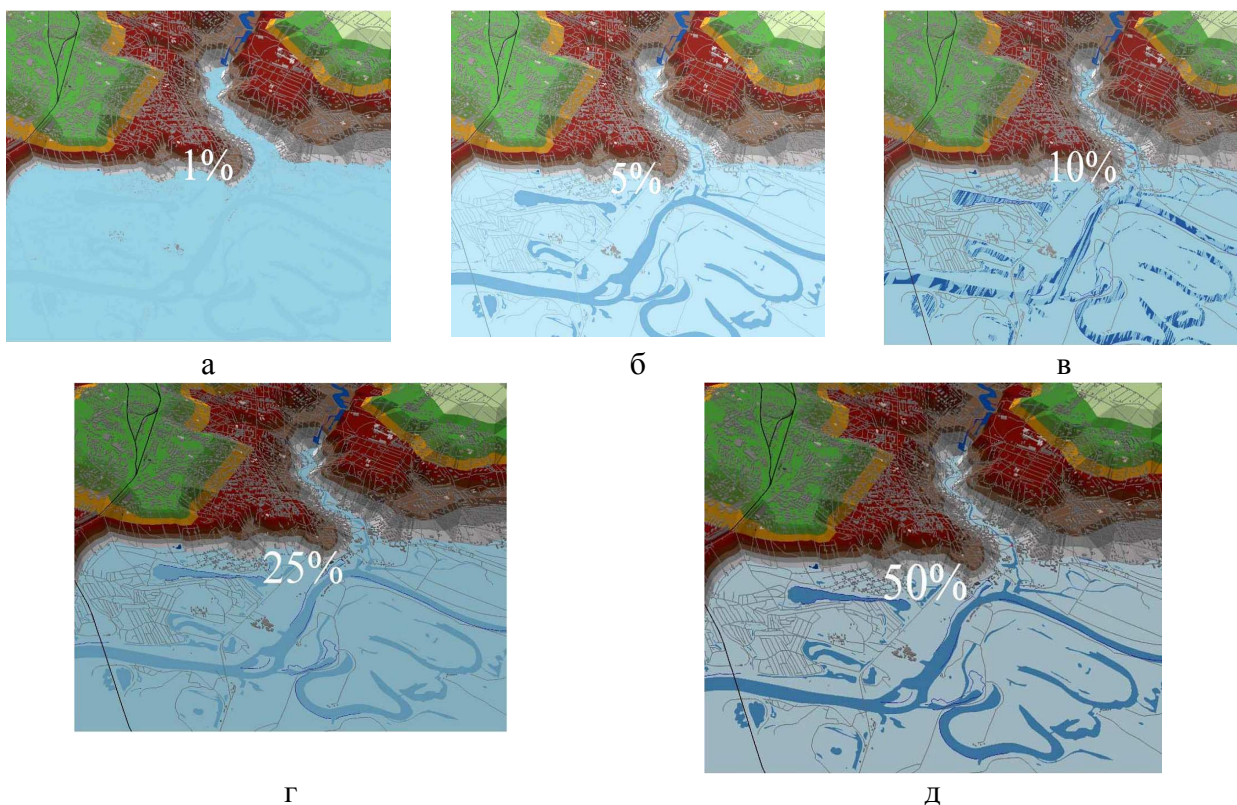


Рис. 6. Моделювання підтоплення територій р. Десна в адміністративних межах м. Чернігова весняною повінню: а) рівень підтоплення 1 раз на 100 років; б) рівень підтоплення 1 раз на 20 років; в) рівень підтоплення 1 раз на 10 років; г) рівень підтоплення 1 раз на 4 роки; д) рівень підтоплення 1 раз на рік

Цифрова модель у сукупності з даними ДЗЗ використовується для отримання ряду похідних морфометричних або інших даних, включаючи обчислення кутів нахилу і експозиції схилів, профілів поперечного перетину, генерацію ліній водорозділів тощо.

4. Висновки

Проведений аналіз свідчить, що використання технологій ДЗЗ та ГІС дозволяє оперативного та порівняно не дорого оцінити як сучасний стан територій, так і зміни, що мали місце за певний період.

Інтеграція технологій ДЗЗ з векторними тематичними шарами ГІС дозволяє проводити швидко ідентифікацію об'єктів на знімку, здійснювати пошукові запити, проводити різні види геоінформаційного аналізу, забезпечувати актуалізацію картографічних матеріалів у найкоротші терміни.

Дані ДЗЗ диференційовано коригуються і геокодується за допомогою GPS і інтегруються в ГІС за визначеними біофізичними характеристиками в місцях дослідних ділянок.

Інтеграція технологій GPS, ДЗЗ і ГІС може і повинна використовуватись у задачах моніторингу природних ресурсів і моніторингу навколишнього середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурачек В.Г. Основи системного аналізу. Конспект лекцій / В.Г. Бурачек, В.І. Зацерковний. – Чернівці: ЧДЕУ, 2009. – 152 с.
2. http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_22_1Integr.htm.
3. Ehlers M. Integration of remote sensing with geographic information system: A necessary evolution / M. Ehlers, G. Edwards, Y. Bedard // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1989. – Vol. 55, N 11. – P. 1619 – 1627.
4. Integration of remote sensing and GIS: Data and data access / M. Ehlers, D. Greenlee, T. Smith [et al.] // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1991. – Vol. 57, N 6. – P. 669 – 675.
5. Remote sensing and geographic information system data integration: Error sources and research issues / R.S. Lunetta, R.G. Congalton, L.K. Fenstermaker [et al.] // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1991. – Vol. 57, N 6. – P. 677 – 687.
6. Systematic analysis model for regional water resources based on a spatial information system, Proceedings of International Symposium, Remote Sensing and Geographic Information Systems for Design and Operation of Water Resources Systems / X. Chen, D. Zhou, N. Zhou [et al.]; M.F. Baumgartner (ed.) // IAHS Pub. 242. – Rabat, Morocco, 1997. – P. 43 – 51.
7. Runyon J. Environmental management solutions for agriculture: Integrating field inspections, GIS, GPS, and aerial photography / J. Runyon // Geo Info Systems. – 1994. – Vol. 4, N 4. – P. 42 – 44.
8. Runyon T. Buried danger: Integrating GIS and GPS to identify radiologically contaminated sites / T. Runyon, R. Hammitt, R. Lindquist // Geo Info Systems. – 1994. – Vol. 4, N 8. – P. 28 – 36.
9. Monday H.M. City of Irving utilizes high resolution multispectral imagery for NPDES compliance / H.M. Monday, J.S. Urban, D. Mulawa [et al.] // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1994. – Vol. 60, N 4. – P. 411 – 416.
10. Biggs P.H. GPS navigation for large-scale photography / P.H. Biggs, C.J. Pearce, T.J. Westcott // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1989. – Vol. 55, N 12. – P. 1737 – 1741.
11. Ackermann F. Application of GPS for aerial triangulation / F. Ackermann, H. Schade // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1993. – Vol. 59, N 11. – P. 1625 – 1632.
12. Haack B. Remote sensing change detection of irrigated agriculture in Afghanistan / B. Haack, J. Wolf, R. English // Geocarto International. – 1998. – Vol. 13, N 2. – P. 65 – 76.
13. Tkeitz P.M. Application of satellite and GIS technologies for land-cover and land-use mapping at the rural-urban fringe: A case study / P.M. Tkeitz, P.J. Howarth, P. Gong // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1992. – Vol. 58, N 4. – P. 439 – 448.

14. Welch R. GIS database development for south Florida's national parks and preserves / R. Welch, M. Remillard, R.F. Doren // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1995. – Vol. 61, N 11. – P. 1371 – 1381.
15. Usery E.L. Precision farming data management using geographic information system / E.L. Usery, S. Pocknee, B. Boydell // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1995. – Vol. 61, N 11. – P. 1383 – 1391.
16. Gao J. Non-differential GPS as an alternative source of planimetric control for rectifying satellite imagery / J. Gao // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2001. – Vol. 67, N 1. – P. 49 – 55.
17. Bor W.T. The use of GPS in GIS applications / W.T. Bor // Journal of Geographical Science. – 1994. – Vol. 17. – P. 77 – 85.
18. Swindell J. A rich harvest: Integrating GPS and GIS on the farm / J. Swindell // Mapping Awareness. – 1995. – Vol. 9, N 1. – P. 32 – 35.
19. GIS/GPS facilitates precision farming / G. Lachapelle, M.E. Cannon, D.C. Penney [et al.] // GIS World. – 1996. – Vol. 9, N 7. – P. 54 – 56.
20. McCormick C.M. Mapping exotic vegetation in the Everglades from large-scale aerial photographs / C.M. McCormick // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1999. – Vol. 65, N 2. – P. 179 – 184.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2014