

DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2019.22.155>

УДК 504:37.03

## Методологічні засади застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища та програмне забезпечення досліджень

О. В. Луньова, О. В. Буглак\*

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, вул. Митрополита Василя Липківського 35, корп. 2, Київ, 01054 Україна

В умовах науково-технічного прогресу значно ускладнились взаємовідносини суспільства з природою. Людина отримала можливість впливати на хід природних процесів, почала опанувати майже всі доступні відновлювальні та невідновлювальні природні ресурси, і як результат, забруднювати і руйнувати довкілля. Фахівцями Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління у рамках виконання наукової роботи “Розробка методики застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища” розв’язана актуальна науково-прикладна задача, що полягає у формуванні методологічного базису застосування ортотрансформованих космічних знімків для створення інформаційних сервісів з екологічного моніторингу стану об’єктів критичної інфраструктури та розширення можливостей Національного центру з забезпечення центральних органів виконавчої влади інформацією про результати екологічного моніторингу на основі даних космічних систем за рахунок розробки методики застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища. Визначено можливості використання багатоспектральних космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища та наведено необхідне для цього програмне забезпечення. На основі алгоритму класифікації підприємств та об’єктів критичної інфраструктури України розроблено сумісну з GIS-системами базу класифікованих за їх впливом на природне середовище об’єктів критичної інфраструктури України та розроблено методику застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки впливів відповідних категорій об’єктів критичної інфраструктури України на стан природного середовища. При формуванні ідеології геоінформаційних систем обґрунтовані вимоги до технічних засобів, на яких має бути розгорнуто сервіс, порядку ведення, наповнення та оновлення бази об’єктів критичної інфраструктури України, механізму та порядку візуалізації оцінок впливів усіх об’єктів розробленої бази на основі GIS-систем

**Ключові слова:** навколишнє природне середовище, ортотрансформовані космічні знімки, потенційно небезпечні об’єкти, база даних, об’єкти критичної інфраструктури

© О. В. Луньова, О. В. Буглак. 2019

### Вступ

В умовах науково-технічного прогресу значно ускладнились взаємовідносини суспільства з природою. Людина отримала можливість впливати на хід природних процесів, почала опанувати майже всі доступні відновлювальні та невідновлювальні природні ресурси, і як результат, забруднювати і руйнувати довкілля.

За оцінкою Всесвітньої організації охорони здоров’я (ВООЗ), із більш ніж 6 млн відомих хімічних сполук практично використовується до 500 тис. сполук; із них біля 40 тис. мають шкідливі для людини властивості, а 12 тис. є токсичними.

Забруднення навколишнього природного середовища відходами, викидами, стічними водами всіх видів промислового виробництва, сільського господарства, комунального господарства міст набуло глобального характеру і поставило людство на грань екологічної катастрофи.

Втручання людини у природні процеси різко зростає і може спричиняти зміну режиму ґрунтових і підземних вод у цілих регіонах, поверхневого стоку, структури ґрунтів, інтен-

сифікацію ерозійних процесів, активізацію геохімічних та хімічних процесів у атмосфері, гідросфері і літосфері, зміни мікроклімату тощо (Малимон, 2009; Лисиченко, 2008).

В зв’язку з таким станом природного середовища, а саме кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферу промисловими, енергетичними, транспортними та іншими об’єктами, необхідні докладні відомості про понад 24 тис. таких об’єктів (промислові підприємства, шахти, кар’єри, магістральні газо-, нафто- і продуктопроводи, гідротехнічні споруди, вузлові залізничні станції, мости, тунелі, накопичувачі та полігони промислових відходів, місця збереження небезпечних речовин і ін.) та створення реєстру таких об’єктів. База даних (БД) реєстру повинна постійно оновлюватись.

Фахівцями Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління (далі — Академія) у рамках виконання наукової роботи “Розробка методики застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища” (№ держреєстрації 0118U005460) було заплановано актуалізацію бази даних потенційно небезпечних об’єктів (ПНО). Актуалізація передбачає аналіз внесеної до неї інформації стосовно ПНО, визначення відповідності перелікам ПНО, внесення нових даних про ПНО і оновлення існуючих на підставі змін паспор-

\* E-mail: [aleksandra.verkhovtseva@gmail.com](mailto:aleksandra.verkhovtseva@gmail.com), тел.: + 380 44 594 91 07 (О. Буглак)

тних даних ПНО, а також вилучення (блокування) інформації у базі даних Реєстру про об'єкти, які офіційно визнані як такі, що не є ПНО або ліквідовані.

Для актуалізації БД Реєстру використовувалися дані паспортів ПНО, що надходять від усіх підприємств, установ та організацій, які мають їх у своєму підпорядкуванні.

Усім об'єктам, про які інформація внесена до БД Реєстру, надані реєстраційні номери. Розвиток реєстру ПНО та його ефективне використання забезпечує інформаційна система моніторингу стану ПНО, яка ґрунтується на принципах максимального використання існуючих організаційних структур суб'єктів моніторингу ПНО та єдиної державної системи запобігання і реагування на навколишнє середовище (НС) техногенного та природного характеру і сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення суб'єктів моніторингу, що використовуються ними для виконання завдань моніторингу ПНО (Верховцев, Улицький, 2017).

Програмне забезпечення реєстру ПНО дозволяє здійснювати автоматичний пошук і добір інформації за більше ніж 40 параметрами, які включають назву об'єкта, територіальне розташування, категорію об'єкта, вид діяльності, техніко-економічні характеристики, вид і категорію небезпеки, назви і кількості небезпечних речовин та матеріалів і ін., а також по комбінаціях або окремих частинах цих параметрів.

Одним із стратегічних джерел інформації держави про стан природних ресурсів, екологічний моніторинг поверхні Землі, визначення природних і антропогенних утворень, тощо — є використання інформаційних систем з впровадженням сучасних технологій на основі космічних систем дистанційного зондування Землі (ДДЗ).

Кінцевою метою обробки даних ДДЗ є розпізнавання об'єктів або ситуацій, що потрапляють в поле огляду, і визначення їх положення в просторі. Але, оскільки форма, розміри, фізичні властивості об'єктів значно відрізняються, розроблено багато способів, методів, методик виконання процедур ДДЗ. Таким чином, на сьогоднішній день не існує єдиного універсального підходу, придатного для виявлення всіх об'єктів і ситуацій (Верховцев, 2005; Верховцев, 2007). Масштабні дослідження потребують використання значних сил і коштів як на етапі польових робіт, так і на стадії аналітичних процедур. Застосування даних отриманих під час дешифрування аеро-та космоснімків у поєднанні з використанням приладів глобального супутникового позиціонування (GPS) дозволяє ефективно виявляти й вивчати об'єкти ПНО в т. ч. об'єкти критичної інфраструктури (ОКІ) (це об'єкти недієздатність або знищення яких, загрожують національній безпеці, економіці, здоров'ю або безпеці життєдіяльності населення та які потребують уваги і доступу міжнародних експертів для упередження надзвичайних ситуацій екологічного та техногенного характеру) неруйнівними методами в умовах антропогенних змін. Широке застосування методів фотограмметрії для дослідження об'єктів раніше стримувалося необхідністю використовувати складне та дороге обладнання, яке застосовується в картографії. На даний час ситуація кардинально змінилась завдяки широкому використанню цифрових камер у польових дослідженнях та цифрових фотограмметричних станцій, доступністю GPS та розвитком відповідного програмного забезпечення для персональних комп'ютерів.

### Матеріали і методи досліджень

**Мета роботи** — розв'язання актуальної науково-прикладної задачі, що полягає у формуванні методологічного базису застосування ортотрансформованих космічних знімків для

створення інформаційних сервісів з екологічного моніторингу стану ОКІ.

**Предмет дослідження** — діяльність ОКІ і їх вплив на навколишнє середовище

**Об'єкт дослідження** — процес забруднення екосистеми об'єктами критичної інфраструктури, суб'єктів господарювання, у власності або користуванні яких знаходяться ОКІ, де можуть використовуватися або виготовлятися, перероблятися, зберігатися чи транспортуватися небезпечні речовини.

**Методи дослідження** — теоретичні та практичні методи досліджень ґрунтуються на застосуванні системного підходу із застосування ГІС-аналізу картографічного моделювання, системно-структурного аналізу та узагальнення.

### Виклад основного матеріалу

Методика застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки впливів відповідних категорій об'єктів критичної інфраструктури України на стан природного середовища формувалася за наступними етапами:

1. Підготовчі роботи, розробка проекту створення цифрових та електронних планів (ортофотопланів)

В проекті робіт на схемі вказується місце розташування об'єкта, кількість та номенклатура аркушів карти масштабу 1:10 000, які покривають територію об'єкта, загальна площа виконання робіт, кількість аркушів ортофотопланів масштабу 1:2 000, що заплановано створити. Також надається перелік основних видів робіт та нормативних документів, з урахуванням яких виконуються всі види робіт.

У ході виконання науково-дослідної роботи було розроблено технологічну схему створення ортофотопланів за матеріалами космічного знімання (рис. 1).

Технологія передбачає такі етапи: підготовчий, розробка проекту створення ортофотопланів, виготовлення ортофотопланів, збір (дешифрування) інформації про потенційно небезпечні об'єкти (ПНО), векторизація контурів ПНО, виготовлення ортофотокарт з результатами векторизації контурів ПНО, поміщення в базу даних отриманих результатів для подальшого аналізу й використання.

Крім цього, етап підготовчих робіт включає:

- збір матеріалів топографо-геодезичної та картографічної забезпеченості об'єкта, де вказується перелік раніше виконаних великомасштабних топографічних знімків (каталоги пунктів ДГМ, топографічні карти різних років видання, матеріали аерознімків);
- підняття архівних матеріалів космічного знімання;
- аналіз матеріалів топографічних робіт, виконаних раніше, прийняття рішення щодо актуальності зібраних матеріалів та доцільності їхнього подальшого використання;
- уточнення завдання на виконання робіт зі створення ортофотопланів, а також меж ділянки та масштабу майбутніх планів.

2. Виготовлення ортофотопланів

В процесі реалізації етапу виготовлення ортофотопланів повинні виконуватися наступні роботи:

- попередня обробка космічних зображень;
- побудова знімальної геодезичної мережі;
- планова прив'язка космічних знімків;
- геометрична корекція матеріалів космічного знімання;

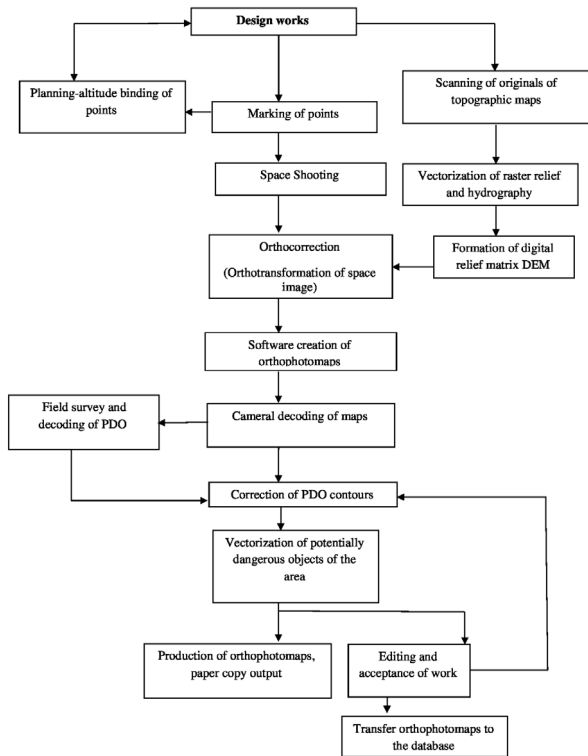


Рис. 1. Технологічна схема створення ортофотопланів

- безпосереднє виготовлення ортофотопланів;
- оцінка точності виготовлених ортофотопланів.

Оцінка точності виготовлення ортофотопланів виконується шляхом порівняння координат контрольних точок, що визначені польовими методами та виміряних по виготовлених ортофотопланах.

Середні квадратичні похибки геометричної корекції обчислюються за формулами 1–5:

$$V_x = X_m - X_B \quad (1)$$

$$V_y = Y_m - Y_B \quad (2)$$

$$m_x = \frac{\sqrt{V_x^T V_x}}{n} \quad (3)$$

$$m_y = \frac{\sqrt{V_y^T V_y}}{n} \quad (4)$$

$$m_s = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (5)$$

де:  $X_m, Y_m$  — вектор координат точок визначених на ортофотоплані;  $X_B, Y_B$  — вектор координат точок визначених геодезичними методами;  $V_x, V_y$  — вектор нев'язок по  $X$  та  $Y$ ;  $m_x, m_y, m_s$  — середньоквадратичні похибки геометричної корекції;  $n$  — кількість контрольних точок.

Результати оцінки точності виготовлення ортофотопланів зводяться в таблицю. Приклад результатів оцінки точності створення ортофотопланів наведено в таблиці 1.

Нарізка ортофотопланів виконується згідно розграфлення та номенклатури топографічних планів масштабу 1:2 000 в відповідній завданню, що виконується, системі координат (рис. 2).

### 3. Створення бази даних топографічних об'єктів (ПНО)

Джерелами вхідних топографічних даних є: матеріали топографо-геодезичних знімків, дані ДЗЗ, традиційні топографічні карти, набори цифрових карт, довідкові та інші матеріали й дані про об'єкти місцевості, що мають потрібну вірогідність, актуальність і точність. На виході в системі отримання даних мають бути: набори цифрових векторних даних, набори даних цифрової моделі рельєфу, цифрові ортофотокарти і ортофотоплани, які після вхідного контролю та оброблення завантажуються в оперативну базу топографічних даних для подальшого реєстрування і накопичення в сховищі бази топографічних даних (БТД).

### 4. Аналіз змін меж ПНО та прилеглих територій на різночасових знімках

Для України характерні значна густина населення і досить висока концентрація промислового та сільськогосподарського виробництва. Тому потрібно здійснювати оперативний контроль екологічного стану екосистем, навантаження на які в деяких регіонах перевищує екологічно допустимі межі. Це ускладнюється і негативним впливом на природу наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, а також загрозою проникнення токсикантів із системи вода — порода в підземні води, які забезпечують водопостачання 2/3 населених пунктів країни.

Для вирішення актуальних завдань раціонального природокористування необхідно створити сучасні засоби для отримання оперативної інформації про стан геосистем України.

Для запровадження системи моніторингу територій ПНО необхідно вирішити такі завдання:

- розглянути аерокосмічні системи, що використовуються під час моніторингу;
- проаналізувати методи фотограмметричної обробки для прив'язки різночасових аерокосмічних знімків;
- розглянути методи автоматизованого дешифрування цифрових аерокосмічних знімків;
- розробити алгоритм і методику прив'язки різночасових різномасштабних знімків, отриманих камерами різних типів;
- дослідити точність прив'язки знімків різного типу;
- розробити технологічну схему обробки різночасових різномасштабних знімків для моніторингу територій.

Як зразок, на рис. 3 подано серію космічних зображень компанії DigitalGlobe на територію полігону викидів Дарницької ТЕЦ протягом 2004–2017 років.

### 5. Формування бази даних ПНО в середовищі ArcGIS

Система отримання даних включає зовнішніх виконавців, що використовують різні засоби інформатизації з метою виготовлення вхідних наборів топографічних даних, які подаються на вхід БТД.

Джерелами вхідних топографічних даних є: матеріали топографо-геодезичних знімків, дані ДЗЗ, традиційні топографічні карти, набори цифрових карт, довідкові та інші матеріали й дані про об'єкти місцевості, що мають потрібну вірогідність, актуальність і точність. На виході в системі отримання даних мають бути: набори цифрових векторних даних, набори даних цифрової моделі рельєфу, цифрові ортофотокарти і ортофотоплани, які після вхідного контролю та оброблення завантажуються в оперативну базу топографічних даних для подальшого реєстрування і накопичення в сховищі бази топографічних даних (БТД).

Таблиця 1.

Оцінка точності ортотрансформування матеріалів космічного знімання

Примітка	$X_m$ , м	$Y_m$ , м	$X_b$ , м	$Y_b$ , м	$dX$ , м	$dY$ , м	$dX^2$ , м	$dY^2$ , м
Опорна	319044.49	5582581.73	319044.42	5582581.87	-0.07	0.14		
Опорна	319135.58	5579177.96	319135.79	5579177.96	0.21	0		
Опорна	318976.73	5581409.73	318977.08	5581410.57	0.35	0.84		
Опорна	317546.07	5581504.98	317546.28	5581504.7	0.21	-0.28		
Опорна	316238.42	5580788.12	316238.5	5580787.56	0.08	-0.56		
Опорна	315733.46	5576221.89	315734.37	5576222.03	0.91	0.14		
Опорна	313785.85	5577891.18	313785.77	5577891.18	-0.08	0		
Опорна	318905.08	5578176.61	318904.73	5578177.34	-0.35	0.73		
Опорна	317108.86	5579787.49	317108.79	5579787.35	-0.07	-0.14		
Контрольна	319179.54	5582378.22	319179.37	5582378.64	-0.17	0.42	0.0289	0.1764
Контрольна	319594.25	5579280.23	319594.75	5579279.95	0.5	-0.28	0.25	0.0784
Контрольна	318943.65	5581239.08	318943.86	5581238.94	0.21	-0.14	0.0441	0.0196
Контрольна	319661.73	5581365.18	319661.51	5581364.9	-0.22	-0.28	0.0484	0.0784
Контрольна	317515.14	5581369.65	317514.92	5581369.51	-0.22	-0.14	0.0484	0.0196
Контрольна	316288.85	5580669.25	316288.92	5580668.83	0.07	-0.42	0.0049	0.1764
Контрольна	315561.84	5576273.41	315562.47	5576273.83	0.63	0.42	0.3969	0.1764
Контрольна	317058.51	5579763.7	317058.72	5579763.28	0.21	-0.42	0.0441	0.1764

$$M_x = 0.18 \text{ м}, M_y = 0.65 \text{ м}, M_z = 0.68 \text{ м}$$

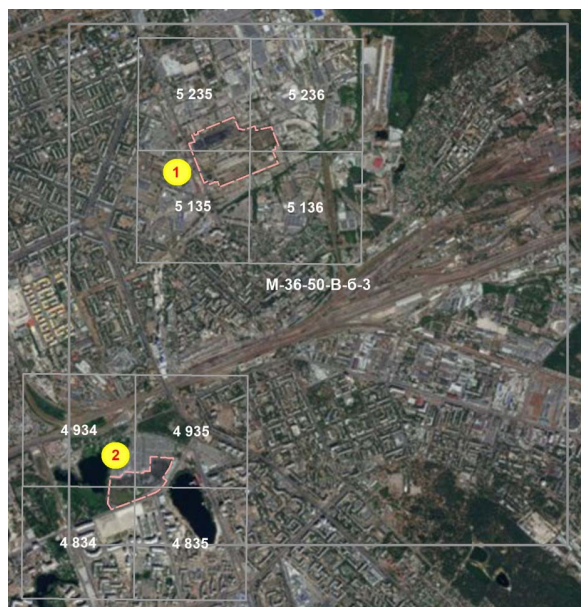


Рис. 2. Схема нарізки ортофотопланів

вищі БТД. Концептуальна єдність БТД досягається за рахунок комплексної імплементації основних положень та вимог базових стандартів серії міжнародних стандартів ISO 19100 за методологією профілювання системи стандартів відкритих систем.

6. Можливості використання багатоспектральних космічних знімків для визначення стану навколишнього середовища

В відмінності від одноканальних (панхроматичних) знімків, які досить легко і оперативним чином можуть бути проаналізовані і окремо описані досвідченим людиною-дешифратором, багатоспектральні зображення людині важкі навіть для простого сприйняття. Великий інформаційний обсяг багатоспектральних зображень, їх багатоканальність, незвичність відтворення характеристик об'єктів,— все це не дозволяє розглядати візуальне дешифрування як ефективний метод

отримання інформації з космічних знімків. Тому вже досить давно для аналізу та дешифрування багатоспектральних знімків широко використовуються комп'ютерні (цифрові) методи, хоча при цьому правила та аналіз процесів, результати дешифрування плануються, контролюються і корегуються людиною.

Аналіз та дешифрування об'єктів на аерокосмічних знімках представляють собою послідовно виконані етапи. На етапі аналізу виявляється зміст сцени та здійснюється сегментація зображення з виявленням та локалізацією об'єктів (Джигирей, 2007), які можуть представляти інтерес з точки зору вирішення загальної задачі (прикладом загальної подібної задачі може бути актуалізація картографічної інформації).

При дешифруванні вирішуються задачі розпізнавання об'єктів та їх інтерпретації (Добровольський, 2005; Лаврик, 2002). При розпізнаванні об'єкта здійснюється віднесення його до одного з класів (типів), список яких зазви-





2004



2010



2012



2017

Рис. 3. Космічне зображення території полігону викидів Дарницької ТЕЦ протягом 2004–2017 рр.

чай заданий. Наприклад, при топографічному дешифруванні перелік класів може задаватися виходячи з рубрики Класифікатора топографічних об'єктів. Віднесення об'єкта до того чи іншого класу здійснюється в результаті візуального або машинного аналізу та оцінки його визначальних ознак.

При інтерпретації на основі виявлених відомостей оцінюється стан об'єктів, а також може складатися деякий прогноз розвитку подій та процесів.

При дешифруванні об'єктів та елементів ландшафту використовують прямі та непрямі дешифрувальні ознаки.

Пряма дешифрувальна ознака об'єкта — це ознака, притаманна безпосередньо самому об'єкту. До прямих ознак відносять форму і розміри об'єктів у плані і по висоті, їх спектральні сигнатури та кольори, текстура поверхні.

Непряма ознака — це дешифрувальна ознака, яка характеризує об'єкт за допомогою властивостей та факторів, які не належать безпосередньо самому об'єкту. При розпізнаванні об'єкта в якості його непрямих ознак можуть виступати відносне розташування, структура тіні, сліди діяльності, приуроченість, повторюваність, тощо (Верховцев, 2005; Верховцев, 2007, Лаврик, 2002; Таланчук, 1991).

Інколи, залежно від застосовуваної шкали вимірів, ознаки діляться на кількісні, якісні та логічні. Кількісні ознаки приймають конкретні числові значення. Якісні ознаки оцінюються в номінальній шкалі. Логічні ознаки представляють собою судження з двома значеннями істинності — “так” чи “ні”.

При візуальному дешифруванні знімки можуть оцінюватися всіма різновидами ознак, при комп'ютерній обробці зображень оперують з кількісними та логічними ознаками об'єктів.

#### 7. Програмні засоби дешифрування багатоспектральних космічних знімків

Введення в експлуатацію нових міжнародних наукових і комерційних супутникових систем ДЗЗ середнього та високого дозволу, таких як EOS, IRS, SPOT, Ikonos, QuickBird, OrbView, GeoEye, EnviSat, а також цифрових аерознімальних систем високого дозволу Leica ADS40, ZI Imaging DMC, Applanix DSS, Merrick DACS, Vexcel UltraCam D, ITRES CASI, Wehrli 3-DAC-1 і їм подібних призводить до необхідності створення та вдосконалення наземної системи цифрової обробки даних ДЗЗ і повітряного спостереження, що, в свою

чергу, тягне за собою зростання ролі програмного забезпечення обробки одержуваних цифрових аерокосмічних знімків (Джигирей, 2007).

Мета цифрової обробки зображень ДЗЗ складається в поліпшенні, прив'язці, інтерпретації, аналізі, оцінці та поданні геопросторових даних в необхідній формі. Слід виділити три основні групи функціональних завдань цифрової обробки даних ДЗЗ (Верховцев, 2007): інтерпретаційна — пов'язана з виділенням об'єктового контенту цифрових зображень; вимірювальна — забезпечує виконання дистанційних вимірювань на місцевості; інтеграційна — спрямована на забезпечення геопросторовими даними при вирішенні практичних завдань.

Ринок програмного забезпечення обробки даних ДЗЗ склався відносно недавно і сьогодні переживає бурхливе зростання одночасно з експоненціальним розширенням можливостей відповідних апаратних засобів. Вартість спеціалізованих програмних пакетів коливається в дуже широких межах і може досягати декількох десятків і сотень тисяч доларів США без урахування витрат на впровадження і технічну підтримку. Тому фахівці, що займаються обробкою даних ДЗЗ, повинні впевнено орієнтуватися як в технічних характеристиках, так і техніко-економічних показниках існуючого програмного забезпечення. Нижче наводиться стислий огляд основних програмних систем обробки даних ДЗЗ відомих світових виробників.

До програмного забезпечення обробки і візуалізації цифрових аерокосмічних зображень відносяться:

- програмний пакет Leica Geosystems Erdas Imagine — дозволяє обробляти і аналізувати зображення практично від будь-яких джерел і представляти їх у вигляді закінчених інформаційних документів;
- програмний пакет ITT VIS ENVI — комплексне програмне рішення для візуалізації та обробки багатоспектральних аерокосмічних знімків;
- програмний пакет Definiens Analyst — призначений для професійної класифікації дистанційних зображень на основі нового наукового підходу об'єктно-орієнтованого аналізу, відсутнього в інших програмних пакетах обробки;
- програмний пакет PCI Geomatics Fundamentals — дозволяє виконувати візуалізацію, інтерпретацію і орторектифікацію цифрових аерокосмічних знімків;
- програмний пакет Earth Resource Mapper — використовується для створення безшовних кольоросбалансованих мозаїк цифрових аерокосмічних знімків;
- програмний пакет LizardTech GeoExpress — використовується для перекодування, зміни картографічної проекції і створення мозаїк цифрових аерокосмічних зображень;
- програмний пакет Purdue Research MultiSpec — програмна система інтерактивного аналізу багатоспектральних і гіперспектральних матеріалів аерокосмічної зйомки;
- програмний пакет Open Source Software OSSIM — високоефективне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом для обробки даних ДЗЗ і фотограмметрії;
- програмний пакет National Space Science Technology IVICS — програмний засіб візуалізації, обробки і класифікації цифрових космічних знімків;
- програмний пакет ScanEx ScanMagic — потужний засіб візуалізації, обробки і аналізу даних ДЗЗ.

До другої групи програмного забезпечення можна віднести цифрові фотограмметричні пакети:

- програмний пакет Leica Geosystems Photogrammetry Suite — найбільш функціональний пакет програм для фотограмметричної обробки цифрових аерокосмічних знімків;

- програмний пакет Blue Marble Geographic Transformer — програмний засіб геореферирування, накладення і зшивання цифрових зображень;

- програмний пакет НПФ “Талка” Талка-ТДВ — призначений для створення цифрових ортофотопланів та фотосхем, вимірювальних стереомоделей для векторизації в режимі стерео, цифрових моделей рельєфу місцевості, виробництва кадастрових планів і топографічних електронних карт з використанням аерокосмічних знімків.

І нарешті, до третьої групи належать:

- програмний пакет MicroImages TNTmips — програмний продукт для геопросторового аналізу і включає в себе ГІС, модулі обробки растрових зображень, автоматичного проектування, настільної картографії та просторової візуалізації;
- програмний пакет Clark Labs IDRISI32 — інтегрований програмний пакет з можливостями ГІС і обробки цифрових аерокосмічних знімків, що складається з понад 200 програмних модулів;
- програмний пакет Geomatique SIGIS — інтегрований програмний пакет обробки і геопросторового аналізу цифрових аерокосмічних знімків;
- програмний пакет INPE / DPI SPRING — гібридна ГІС і програмне забезпечення обробки даних ДЗЗ з об'єктно-орієнтованою архітектурою, яке інтегрує растрові і векторні дані в єдиному середовищі обробки;
- програмний пакет ESRI ArcGIS — класичний інтегрований комплект програмних продуктів для створення, використання і поширення ГІС масштабу організації;
- програмний пакет MapInfo Professional — професійна ГІС для створення, управління, аналізу і візуалізації геопросторових даних;
- програмний пакет Free Software GRASS — академічна ГІС для геопросторового аналізу, моделювання, управління, і візуалізації.

Зведені характеристики існуючих програмних пакетів обробки даних ДЗЗ містяться в таблиці 2. Наведена в доларах США вартість є орієнтовною і може змінюватися в широких межах в залежності від конкретного дистриб'ютора, обсягу закупівлі і типу ліцензії.

Таким чином, сучасне програмне забезпечення обробки даних ДЗЗ дозволяє створювати завершені технологічні ланцюжки цифрової обробки аерокосмічних знімків для вирішення відомих тематичних завдань, починаючи від радіометричної корекції вихідних бортових растрових зображень і закінчуючи публікацією результатуючих векторних тематичних карт (Маслов, 2005).

### Результати роботи та їх аналіз

- розроблено алгоритм класифікації підприємств та об'єктів критичної інфраструктури України за галузями промисловості та їх впливом на природне середовище: атмосферне повітря, ґрунти, підземні та поверхневі води, лісові ресурси та природно-заповідний фонд;
- на основі алгоритму класифікації підприємств та об'єктів критичної інфраструктури України розроблено сумісну з ГІС-системами базу класифікованих за їх впливом на природне середовище об'єктів критичної інфраструктури України;
- розроблено методик застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки впливів відповідних категорій об'єктів критичної інфраструктури України на стан природного середовища.



Таблиця 2.

Характеристики програмних пакетів обробки даних ДЗЗ

Виробник	Програмний пакет	Призначення	Платформа	Вартість*
Leica Geosystems	Erdas Imagine Professional	Обробка цифрових знімків	Intel, RISC / Win32, Irix, Linux	12 000
Research Systems	ENVI+ IDL	Обробка цифрових знімків	Intel / Win32	8 300
Definiens Imaging	eCognition Analyst	Обробка цифрових знімків	Intel / Win32	19 000
PCI Geomatics	Geomatica Fundamentals	Обробка цифрових знімків	Intel, RISC / Win32, Linux, Solaris	14 000
Earth Resource Mapping	ER Mapper	Обробка цифрових знімків	Intel / Win32	8 000
LizardTech	GeoExpress with MrSID	Обробка цифрових знімків	Intel / Win32	7 900
Purdue Research Foundation	MultiSpec	Обробка цифрових знімків	Intel / Win32, MacOS	Безкоштовно**
Open Source Software Institute	OSSIM	Обробка цифрових знімків	Intel / Win32, Linux	Безкоштовно***
National Space Science Technology Center	IVICS	Обробка цифрових знімків	Intel, RISC / Irix, Linux	Безкоштовно***
ScanEx	ScanMagic	Обробка цифрових знімків	Intel / Win32	1 300
MicroImages	TNTmips®	Гібридна ГІС	Intel, RISC / MacOS, Win32, Linux	6 000
Clark Labs	IDRISI Kilimanjaro	Гібридна ГІС	Intel / Win32	995
Geomatique	SIGIS	Гібридна ГІС	Intel / Win32	575
INPE/DPI	SPRING	Гібридна ГІС	Intel / Win32, Linux	Безкоштовно***
ESRI	ArcGIS	ГІС	Intel, RISC / Win32, Irix, Linux	27 000
MapInfo	MapInfo Professional	ГІС	Intel / Win32	1 995
Free Software Foundation	GRASS	ГІС	Intel, RISC / Irix, Aix, Linux	Безкоштовно***
Leica Geosystems	Photogrammetry Suite	Фотограмметрична обробка	Intel / Win32	16 500
Blue Marble Geographics	Geographic Transformer	Фотограмметрична обробка	Intel / Win32	1 050
НПФ "Талка"	Талка-ТДВ	Фотограмметрична обробка	Intel / Win32	2 750

\* одна фіксована ліцензія, \*\* некомерційне використання, \*\*\* відкритий вихідний код

### Висновки та прогнозні припущення про розвиток об'єкта дослідження

Введення в експлуатацію нових міжнародних наукових і комерційних супутникових систем ДЗЗ середнього та високого дозволу, таких як EOS, IRS, SPOT, Ikonos, QuickBird, OrbView, GeoEye, EnviSat, а також цифрових аерознімальних систем високого дозволу Leica ADS40, ZI Imaging DMC, Applanix DSS, Merrick DACS, Vexcel UltraCam D, ITRES CASI, Wehrl 3-DAC-1 і їм подібних призводить до необхідності створення та вдосконалення наземної системи цифрової обробки даних ДЗЗ і повітряного спостереження за станом навколишнього природного середовища, що, в свою чергу, тягне за собою зростання ролі програмного забезпечення обробки одержуваних цифрових аерокосмічних знімків та отримання ортотрансформованих космічних знімків.

Запропоноване програмне забезпечення обробки даних ДЗЗ дозволить створювати завершені технологічні ланцюжки цифрової обробки аерокосмічних знімків для вирішення тематичних завдань, починаючи від радіометричної корекції вихідних бортових растрових зображень, застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки впливів відповідних категорій об'єктів критичної інфраструктури України на стан природного середовища і закінчуючи публікацією результуючих векторних тематичних карт.

Таким чином розроблена методика може бути валідована з використанням результатів космічної зйомки на конкретних прикладах для кожного з класу об'єктів критичної інфраструктури України.

### Література

- Верховцев В. Г. Прикладные (поисковые и инженерно-геологические) аспекты изучения платформенных геоструктур Украины. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2005. № 3. С. 80–92.
- Верховцев В. Г. Новейшие платформенные геоструктуры Украины и динамика их развития: дис... д-ра геол. наук: 04.00.01: Киев, 2007. 423 с.
- Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навчальний посібник. Київ: Знання, 2007. 422 с.
- Добровольський В. В. Основи теорії екологічних систем: навчальний посібник. К.: Професіонал, 2005. 272 с.
- Лаврик В. І. Методи математичного моделювання в екології: навчальний посібник. К.: Видавничий дім КМ Академія, 2002. 203 с.
- Лисиченко Г. В., Забулонов Ю. Л., Хміль Г. А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління: монографія. К.: Наук. думка, 2008. 542 с.
- Малимон С. С. Основи екології: підручник. Вінниця: Нова книга, 2009. 240 с.
- Маслов В. П. Физико-технологические проблемы обеспечения работоспособности оптоэлектронных сенсорных приборов при экстремальных условиях. *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології*. 2005. № 1. С. 57–62.
- Проведення оцінки та вивчення еколого-техногенного стану Донецької та Луганської областей з метою розробки рекомендацій щодо природно-ресурсного відновлення на екологічних засадах: звіт про НДР / кер. О. А. Улицький; вик.: В. М. Єрмаков, О. І. Бондар; Державний заклад "Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Мінприроди". К.: 2017. № ДР 0117U006967.
- Таланчук П. М., Голубков С. П., Маслов В. П. та ін. Сенсоры в контрольно-измерительной технике. К.: Техника, 1991. 175 с.

## References

- Dobrovolsky, V. V. (2005). *Fundamentals of the theory of ecological systems*. Kyiv: Professional. (in Ukrainian).
- Dzhygyrey, V. S. (2007). *Ecology and environmental protection*. Kyiv: Znannya. (in Ukrainian).
- Lavryk V. I. (2002). *Methods of mathematical modeling in ecology*. Kyiv: Publishing house KM Academy. (in Ukrainian).
- Lysychenko, G. V., Zabulov, Ju. L. (2008). *Natural, man-made and environmental risks: analysis, evaluation, management*. Kyiv: Nauk. Dumka. (in Ukrainian).
- Malyon, S. S. (2009). *Fundamentals of ecology*. Vinnytsya: Nova Knyga. (in Ukrainian).
- Maslov, V. P. (2005). Physical and technological problems of ensuring the operability of optoelectronic sensor devices under extreme conditions. *Sensornia elektronika i mikrosystemni tekhnolohiyi*, 1, 57–62. (in Russian).
- Talanchuk, P. M., Golubkov, S. P., Maslov, V. P. and others. (1991). *Sensors in the control and measurement technology*. Kiev: Tekhnika. (in Russian).
- Ulytsky, O. A., Yermakov, V. M., Bondar, O. I. Report on implementation scientific work 0117U006967 on 23.10.2017. Conducting assessment and study of the ecological and technogenic state of Donetsk and Luhansk regions with the purpose of developing recommendations on natural resource restoration on ecological grounds. [in Ukrainian].
- Verkhovtsev, V. V. (2005). Applied (prospecting and engineering-geological) aspects of the study of platform geostuctures of Ukraine. *Ekolohiya dovkillya ta bezpeka zhyttyediyalnosti*, 3. (in Russian).
- Verkhovtsev, V. V. (2007). The latest platform geostuctures of Ukraine and the dynamics of their development (Extended abstract of Doctor thesis). Institute of geology, Kyiv, Ukraine. (in Russian).

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОРТОТРАНСФОРМИРОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

О. В. Луньова, А. В. Буглак.

Государственная экологическая академия последипломного образования и управления. E-mail: aleksandra.verkhovtseva@gmail.com, тел.: 044-594-91-07, ул. Митрополита Василя Липковского 35, корп. 2, Киев, 01054, Украина

В условиях научно-технического прогресса значительно усложнились взаимоотношения общества с природой. Человек получил возможность влиять на ход природных процессов, освоил почти все доступные возобновляемые и невозобновляемые природные ресурсы, и как результат, начал загрязнять и разрушать окружающую среду. Специалистами Государственной экологической академии последипломного образования и управления в рамках выполнения научной работы “Разработка методики применения ортотрансформированных космических снимков для оценки состояния окружающей среды” решена актуальная научно-прикладная задача, которая заключается в формировании методологического базиса применения ортотрансформированных космических снимков для создания информационных сервисов экологического мониторинга состояния объектов критической инфраструктуры и расширение возможностей Национального центра по обеспечению центральных органов исполнительной власти информацией о результатах экологического мониторинга на основе данных космических систем за счет разработки методики применения ортотрансформированных космических снимков для оценки состояния окружающей среды. Определены возможности использования многоспектральных космических снимков для оценки состояния окружающей среды и приведено необходимое для этого программное обеспечение. На основе алгоритма классификации предприятий и объектов критической инфраструктуры Украины разработано совместимую с GIS-системами базу классифицированных по их влиянию на окружающую среду объектов критической инфраструктуры Украины и разработана методика применения ортотрансформированных космических снимков для оценки воздействия соответствующих категорий объектов критической инфраструктуры Украины на состояние природной среды. При формировании идеологии геоинформационных систем обосновано требования к техническим средствам, на которых должно быть развернуто сервис, порядок ведения, наполнения и обновления базы объектов критической инфраструктуры Украины, механизм и порядок визуализации оценок воздействий всех объектов разработанной базы на основе GIS-систем.

**Ключевые слова:** окружающая природная среда, ортотрансформированные космические снимки, потенциально опасные объекты, база данных, объекты критической инфраструктуры

## METHODOLOGICAL BASIS OF ORTHOTRANSFORMED SPACE IMAGES APPLICATION FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND SOFTWARE OF RESEARCH

O. Lunova, O. Buglak

State ecology academy of postgraduate education and management. E-mail: aleksandra.verkhovtseva@gmail.com, phone: + 380 44 594 91 07, Mytropolita Vasylia Lypkivskogo st. 35, build. 2, Kyiv, 01054 Ukraine

In the conditions of scientific and technological progress, the relationship of society with nature has become much more complicated. Man got the opportunity to influence the course of natural processes, started to use almost all available renewable and non-renewable natural resources, and as a result, began to pollute and destroy the environment. Specialists of the State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, within the framework of the scientific work “Development of the methodological basis of orthotransformed satellite imagery application in environmental assessment”, solved an actual scientific and applied task, which is to form a methodological basis for the use of orthotransformed satellite imagery to create information services for environmental monitoring of objects of critical infrastructure and expanding the capacity of the National Center of the provision of central executive authorities of information about the results of environmental monitoring based on space systems data through the development of methods of using orthotransformed satellite imagery for the assessment of the environmental state. The possibilities of using multispectral space images to assess the state of the environment are determined and the necessary software for this is given. Based on the classification algorithm of enterprises and objects of critical infrastructure of Ukraine, a GIS-compatible database of objects of critical infrastructure of Ukraine classified by their environmental impact was developed and a methodology for using orthotransformed satellite imagery was developed to assess the impact of the corresponding categories of critical infrastructure facilities of Ukraine on the state of the environment. During creating the ideology of geographic information systems, the requirements for technical means on which the service should be deployed, the procedure for maintaining, filling and updating the database of objects of critical infrastructure of Ukraine, the mechanism and procedure for visualizing impact assessments of all objects of the developed base based on GIS-systems.

**Keywords:** environment, orthotransformed satellite imagery, potentially dangerous objects, database, objects of critical infrastructure

Стаття надійшла до редакції 18.09.2019