

**Довгий С. О., Лялько В. І., Бабійчук С. М.,
Кучма Т. Л., Томченко О. В.,
Юрків Л. Я.**

**ОСНОВИ
ДИСТАНЦІЙНОГО
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ:
ІСТОРІЯ ТА ПРАКТИЧНЕ
ЗАСТОСУВАННЯ**

Київ — 2019

УДК 528.8

О-75

Укладачі:

*Довгий С. О., Лялько В. І., Бабійчук С. М., Кучма Т. Л.,
Томченко О. В., Юрків Л. Я.*

Рецензенти:

Р. В. Шульц — доктор технічних наук, професор
(Київський національний університет
будівництва та архітектури);

Р. Гілберт — доктор наук про Землю, ГІС-експерт
(Зволенський технічний університет
(Словаччина))

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(лист від 24.05.19 р. №1/11-4919)*

О-75 **Основи** дистанційного зондування Землі : історія та практичне застосування : навч. посіб. / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. — К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. — 316 с.

ISBN 978-617-7734-01-6

Навчальний посібник знайомить читачів з історією розвитку, фізичними основами та сферами застосування даних дистанційного зондування Землі. Також у посібнику міститься інформація про природу електромагнітного випромінювання і його роль у дешифруванні та інтерпретації космічних знімків. Наведено приклади застосування матеріалів дистанційного зондування Землі у дисциплінах природничого циклу.

Посібник може використовуватися методистами та керівниками секцій системи Малої академії наук України, учителями й учнями шкіл, ліцеїв, гімназій у навчальній та науково-дослідницькій діяльності, а також усіма, хто прагне самостійно опанувати основи дистанційного зондування Землі.

УДК 528.8

© Довгий С. О., Лялько В. І., Бабійчук С. М.,
Кучма Т. Л., Томченко О. В., Юрків Л. Я., 2019

© Інститут обдарованої дитини
НАПН України, 2019

ISBN 978-617-7734-01-6

ЗМІСТ

Передмова	5
Перелік скорочень та умовних позначень	6
Розділ 1. Історія дистанційного зондування Землі	8
1.1. Аероспостереження земної поверхні	9
1.2. Космічна ера: етапи розвитку	12
1.3. Становлення дистанційного зондування Землі в Україні	15
1.4. Підприємства та установи у сфері дистанційного зондування Землі в Україні	18
1.5. Стан та перспективи розвитку дистанційних методів дослідження Землі в Україні	24
1.6. Міжнародні організації	26
Розділ 2. Фізичні основи дистанційного зондування Землі	32
2.1. Електромагнітне випромінювання	33
2.2. Загальна схема дистанційного зондування Землі	45
2.3. Авіаційні носії	48
2.4. Космічні носії	51
2.4.1. Штучні супутники Землі	52
2.4.2. Пілотовані кораблі	54
2.4.3. Орбітальні станції	55
2.5. Приклади найбільш популярних систем дистанційного зондування (Landsat, Sentinel, Terra (Modis, Aster), RapidEye, Planet Labs)	59
2.6. Космічне сміття	77
Розділ 3. Основи дешифрування та інтерпретації знімків	84
3.1. Суть та ознаки дешифрування	85
3.2. Попередня обробка космічних знімків	92
3.3. Тематична обробка супутникових знімків	93
3.4. Програмне забезпечення для роботи з супутниковими знімками (ArcGis, R, QGIS, SNAP)	98

Розділ 4. Сфери застосування дистанційного зондування Землі ...	108
4.1. Науки про Землю	109
4.1.1. Кліматологія та метеорологія	109
4.1.2. Гідрологія	124
4.1.3. Геологія	146
4.1.4. Ландшафтознавство та урбаністика	173
4.2. Екологія та аграрні науки	198
4.2.1. Лісознавство	199
4.2.2. Агрономія	213
4.2.3. Охорона довкілля та раціональне природокористування	226
4.2.4. Моніторинг надзвичайних ситуацій та оцінка стану довкілля	241
ВИСНОВКИ	268
ДОДАТКИ	270
СЛОВНИК ТЕРМІНІВ	281

Перелік скорочень та умовних позначень

- ГІС — географічна інформаційна система
- ДЗЗ — дистанційне зондування Землі
- ДКАУ/ — Національне космічне агентство України (до 2010 р.),
НКАУ — Державне космічне агентство України (після 2010 р.)
- ЕГП — екзогенні геологічні процеси
- ЕОМ — електронно-обчислювальна машина
- ЄКА — Європейське космічне агентство
- КА — космічний апарат
- МАН — Мала академія наук
- МКС — Міжнародна космічна станція
- МОН — Міністерство освіти і науки
- НААНУ — Національна академія аграрних наук України
- НАНУ — Національна академія наук України
- НАСА — Національне управління з аеронавтики
(NASA) і дослідження космічного простору (США)
- ШСЗ — штучний супутник Землі

ПЕРЕДМОВА

Який вигляд має земна поверхня з висоти пташиного польоту — питання, яке давно цікавить людство. З появою перших літальних апаратів надземна зйомка надала можливість значно підвищити точність карт, а робота картографів набула нових, прогресивних рис.

Справжньою революцією у питанні аероспостереження став запуск штучного супутника Землі. Дистанційне зондування Землі дозволило підняти на новий рівень дослідження земної поверхні. Дисципліни циклу «науки про Землю» використовують дані дистанційного зондування Землі для здійснення точних наземних досліджень.

Точність та інформаційна наповненість космічних знімків зростає з кожним роком. Удосконалюється механізм космічної зйомки: збільшується роздільна здатність космічного знімку, спектр зйомки може показати детальну інформацію про рівень вегетації рослин на певній ділянці, рівень зволоженості/посушливості території, рух атмосферних фронтів тощо.

Поеднання дистанційного зондування Землі з геоінформаційними системами дозволило по-новому досліджувати нашу планету: бачити закриті для людського ока території, детально досліджувати ділянки, на яких науковець міг ніколи й не ступати ногою.

Перевагами супутникового моніторингу є:

- об'єктивність і достовірність (супутникові знімки дозволяють відображати фактичну інформацію);
- оглядовість і детальність (можливе спостереження будь-якої території на Землі з детальністю до 30 см);
- актуальність, висока періодичність, оперативність (зйомка з космосу з мінімальним часом отримання даних користувачем);

- багатоспектральний характер спостережень (набір спектральних каналів в одному знімку);
- багатогалузевість (екологічний моніторинг, сільське, лісове, водне господарство, прогноз і контроль надзвичайних ситуацій, управління територіями та планування їх розвитку, інвентаризація та контроль використання земельних ресурсів, картографія, будівництво, транспорт, зв'язок тощо).

Навчальний посібник стане в нагоді методистам та керівникам секцій системи Малої академії наук України, учням та вчителям закладів загальної середньої освіти, які мають на меті опанувати основи дистанційного зондування Землі. Курс навчання може викладатися у закладах загальної середньої освіти будь-якого профілю після основ інформатики та курсу географії 7-го класу.

A satellite photograph of Earth's surface, showing a large body of water (likely the Atlantic Ocean) and surrounding landmasses. The image is in shades of blue and white, with a dark blue band across the middle. The text is overlaid on the lower part of the image.

Розділ 1

ІСТОРІЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Розділ 1.

ІСТОРІЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Дистанційне зондування Землі (далі ДЗЗ) — це одержання інформації про будь-який об'єкт чи процес без прямого контакту з ними. У сучасному розумінні ДЗЗ полягає в тематичному аналізі як власного, так і штучно створеного випромінювання земної поверхні в межах від ультрафіолетового до радіохвильового діапазонів. У той же час, розвиток геодезичних та картографічних знань зробили можливим прив'язати космічний знімок до конкретного місця земної поверхні, яку він відображає. Без наземних геодезичних спостережень, географічних проекцій та координат було б неможливо почати використовувати космічні знімки як джерело геоданих.

Започаткування практичного ДЗЗ пов'язане з винаходом фотографії в першій половині XIX сторіччя, коли стало можливим фіксувати зображення та їх зміни у часі і просторі. Протягом цього ж сторіччя були розроблені теоретичні основи електромагнітного випромінювання за межами видимої частини спектра: інфрачервоного випромінювання — Гершелем, ультрафіолетового — Ріттером, радіохвильового — Герцем, а в 1863 році Максвелл розробив загальну електромагнітну теорію, яка дозволяє виконувати кількісну інтерпретацію різнохвильової спектральної інформації, що надходить від різних об'єктів (*Додаток 1*).

1.1. Аероспостереження земної поверхні

Аерофотозйомка почала застосовуватись майже одразу після винаходу фотографічного методу. Перший аерознімок зробив Фелікс Турнашон (Надар), сфотографував він селище під Парижем з повітряної кулі на висоті 80 м.

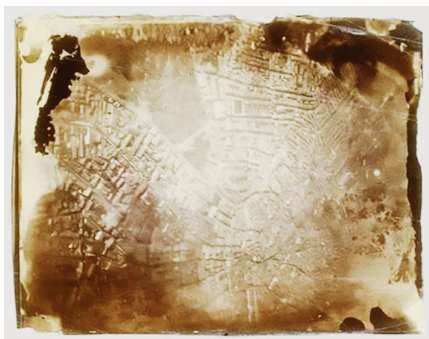


Рис. 1.1. Перший аерофотознімок з повітря Фелікса Турнашона (1858) [1]

З кінця XIX ст., внаслідок того, що вдосконалювалися методи фотографування, знаходилося багато експериментаторів, які почали прикріплювати камери до безпілотних літальних апаратів.

В 1907 році аптекар Ю. Нойброннер винайшов техніку аерофотознімання, яку називають **голубина фотозйомка**. Спочатку він використовував поштових голубів для доставки ліків, а потім вирішив поекспериментувати і сконструював для голуба алюмінієву нагрудну упряжку, до якої кріпиться мініатюрна фотокамера, що автоматично робила знімки через певні проміжки часу [2]. Пізніше, в 1909 році Нойброннер навіть продав деякі з таких голубиних фотографій у форматі поштових листівок.

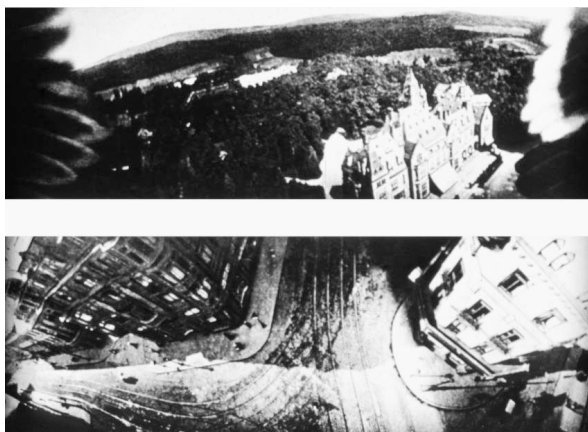


Рис. 1.2. Світлина, зроблені голубами Нойброннера [3]

В 1909 році були отримані аерознімки з літаків. Аерофотозйомка використовувалась протягом Першої світової війни для військової розвідки. В період між двома світовими війнами були розвинуті методи її цивільного застосування, в першу чергу в картографії, геології, сільському та лісовому господарстві. Вдосконалювались фотоапарати, плівки і літаки, значно розвинувся стереографічний метод картографування. Перша фотографія з космосу була зроблена з борту ракети V-2 24 жовтня 1946 року [1].

Револьюційним етапом у розвитку дистанційних методів зондування стало освоєння космічного простору. З пілотованих космічних апаратів, штучних супутників Землі, орбітальних станцій почали надходити у великій кількості космічні знімки. Перші знімки земної поверхні було отримано з метеорологічного супутника



*Рис. 1.3. Перший знімок з космосу 1946 р.
На знімку зображена Мексика [1]*

«Тайрос» і космічних кораблів серії «Меркурій 1–4» у 1960–1962 рр. За кольоровими відбитками отриманих зображень регіону Карибського басейну і території Північно-Західної частини Африки було дешифровано та закартовано багато нових тектонічних порушень, виявлено раніше не відомі виходи різновікових корінних порід, визначено форму їх залягання. Перші космічні фотозображення території СРСР у видимому діапазоні електромагнітного спектра були зроблені космонавтом Г. С. Тітовим у 1962 р. з космічного супутника «Восток».

1.2. Космічна ера: етапи розвитку

Друга світова війна внесла реальні досягнення в дистанційне зондування. Авіаційна фотографічна розвідка досягла високого рівня розвитку: німецьке вторгнення в Англію, яке було заплановане на вересень 1940 року, було відмінено внаслідок отримання даних спостережень про концентрацію кораблів вздовж Ла-Маншу. Розроблялися прилади, чутливі до інфрачервоного випромінювання, радарні системи.

Кольорова інфрачервона плівка першочергово була розроблена для військового використання, а в 1950-х рр. почала застосовуватись для складання карт рослинності. Тоді ж були розроблені візуальні радари високого розрізнення.

Продовженням цих розробок в 1960-х роках було встановлення датчиків на космічних апаратах (КА). Спочатку це було частиною програми спостереження за Місяцем, в подальшому були оцінені переваги застосування тих самих методів для спостереження за Землею. Перші багатоспектральні зображення Землі з космосу були виконані з борту пілотованого літального апарата *Аполлон-6*. Хоча тоді вже працювали безпілотні супутники дистанційного зондування, відкриття сучасної ери ДЗЗ з космосу в режимі моніторингу датується червнем 1972 року у зв'язку з початком успішної експлуатації *ERTS* — Технологічного супутника з вивчення земних ресурсів Національного управління США з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA).

Супутник *ERTS* був згодом перейменований в *Landsat-1*, і програма *Landsat* триває до сьогодні.

У період з 1960 по 2010 роки відбулися значні зміни в галузі дистанційного зондування. Нижче перераховані деякі з цих змін.

- По-перше, термін «дистанційне зондування» був спочатку введений в 1960 році. До 1960 року термін, що використовувався, зазвичай представляв собою аерофотозйомку. Однак нові методи і технології для виявлення поверхні Землі виходили за рамки чорно-білої аерофотозйомки, вимагаючи створення нового, більш всеосяжного терміна.
- По-друге, в 1960-х і 1970-х роках почали переносити дистанційно-чутливі прилади з літаків на супутники. Супутники можуть покривати набагато більше простору на земній поверхні, ніж літаки, і можуть регулярно контролювати зони зйомок.
- По-третє, зображення стали цифровими, а не аналоговими. Цифровий формат дозволив відображати і аналізувати зображення з використанням комп'ютерів, технологією, яка також піддавалася швидким змінам протягом цього періоду. Комп'ютерні технології переміщалися від великих електронних обчислювальних машин (ЕОМ) до невеликих мікрокомп'ютерів і надавали інформацію більше в графічній формі, а не на числовому виході.
- По-четверте, з'явилися датчики, які реєстрували поверхню Землі одночасно в декількох різних частинах електромагнітного спектра, що дозволило детальніше вивчати територію, переглянувши кілька різних зображень, в тому числі за межами видимого спектра. Ця технологія дозволяє побачити процеси, події, явища тощо, що відбуваються на поверхні Землі, невидимі для людського ока.
- Нарешті, бурхливі соціально-екологічні рухи 1960-х і 1970-х років пробудили нову і постійну стурбованість змінами у фізичному середовищі Землі. Дистанційні дані з супутників, проаналізовані та покращені за допомогою комп'ютерів, дозволили виявляти та моніторити ці зміни. Таким чином, соціальна підтримка була і залишається сильною для цієї технології, хоча дуже мало людей знайомі з терміном «дистанційне зондування».

Нині багато супутників з різними інструментами дистанційного зондування контролюють поверхню Землі. Наприклад, місія CORONA була секретною програмою військової розвідки, яка триває до теперішнього часу за допомогою передових супутників Keyhole, а Landsat — це програма відкритих ресурсів Землі, яка також триває завдяки більш вдосконаленим програмам супутникового моніторингу.

Головними сучасними тенденціями розвитку ДЗЗ у **світі** є (на основі Лялько В. І., Попов М. О., 2017) [4]:

- Загальна сума, на яку зараз виконуються послуги з ДЗЗ у світі, складає близько 2 млрд USD/рік. Поступово збільшується сумарна кількість діючих місій КА для отримання тематичної інформації. Збільшенню сумарної кількості КА на орбітах сприяє також той факт, що сучасні технології дозволяють створювати конструкції КА і бортові сенсори з більшими, ніж раніше, строками функціонування в космосі (до 10-ти і більше років). Одночасно розширюється коло країн, які запускають власні супутники для отримання тематичної космічної інформації високого просторового розрізнення.
- Детальність на місцевості, яку забезпечують космічні знімки в оптичному діапазоні, сьогодні вже наближена до межі, яка визначається фізичними законами. Наприклад, компанія GeoEye (США) розпочала у 2008 році створення КА GeoEye-2 третього покоління з бортовим оптико-електронним сенсором з просторовим розрізненням 30 см. Відзначимо, що суттєвий прорив в останні роки досягнуто у підвищенні просторової розрізненості космічних радіолокаційних знімків (до 1 м).
- Одна з вимог до ДЗЗ — постійне відстеження об'єктів в межах всіх досліджуваних територій, які іноді розташовані в різних географічних регіонах. Задовольнити цю вимогу на основі матеріалів знімання за допомогою літаків або одного орбітального апарата неможливо. Тому провідні країни світу йдуть на створення космічних угруповань, які дозволяють знімати будь-яку ділянку території земної кулі з необхідною періодичністю, до кількох разів на добу.

- Успішно розвиваються та застосовуються багатоспектральні, гіперспектральні сенсори для вирішення галузевих задач (природо-ресурсних, екологічних, сільськогосподарських та ін.). Проте треба констатувати, що якщо на даний час багатоспектральні знімки широко і результативно застосовуються в ДЗЗ, то гіперспектральні знімки використовуються значно менше. Причина у тому, що просторова розрізненість гіперспектральних сенсорів суттєво відстає від просторової розрізненості багатоспектральних сенсорів.
- Щоб реалізувати можливості космічних методів, космічна видова інформація повинна задовольняти певним вимогам, а саме:
 - просторова розрізненість;
 - оперативність отримання інформації;
 - вимоги щодо повноти (комплексності) видової інформації;
 - можливість спостереження визначених географічних територій;
 - періодичність дистанційного зондування.

Вимоги до параметрів космічної інформації, що висувуються в різних галузях науки, промисловості та сільського господарства, свідчать, що для вирішення значної частини тематичних задач ДЗЗ необхідні матеріали космічної зйомки з просторовою розрізненістю до 5.0 м, а більшість (65%) задач потребує використання даних ДЗЗ з розрізненістю менше 15 м. Роздільна здатність матеріалів космічних зйомок помітно впливає на економічну ефективність їх використання.

1.3. Становлення ДЗЗ в Україні

ДЗЗ було і залишається одним з трьох пріоритетних напрямів науково-практичних досліджень (поряд з телекомунікаціями та навігацією), що здійснюються в космічній галузі України. В Україні завжди приділяли увагу розвитку ДЗЗ, завдяки чому воно сформувалось у важливу науково-технічну складову загальнонаціонального комплексу, зі своїми науково-дослідними установами, центрами прийому, оброблення та розповсюдження космічної інформації, об'єднаними у певну інфраструктуру.

Дослідження в галузі ДЗЗ мають в Україні більш ніж півстолітню історію. Зі створенням у лютому 1992 року Національного

космічного агентства України ці дослідження отримали новий імпульс. У серпні 1995 року українська ракета-носіє «Циклон-3» вивела на орбіту перший вітчизняний КА «Січ-1», призначений для ДЗЗ. Успішний запуск українського супутника продемонстрував високі можливості, які дозволили замкнути на національному рівні весь виробничий цикл космічної системи — від розробки й виготовлення до експлуатації й поширення отриманої супутникової інформації. Для розширення наукових і прикладних досліджень Землі рішеннями керівників Космічного агентства й Національної академії наук України було вжито необхідних організаційних заходів, зокрема створено кілька відомчих організацій для ведення науково-прикладних досліджень у сфері ДЗЗ: Центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України і Науково-виробничий центр «Природа» (Київ), Центр радіофізичного зондування Землі (Харків), підприємство «Дніпрокосмос» (Дніпропетровськ — нині Дніпро).

Ухвалена нещодавно Верховною Радою концепція Цільової науково-технічної космічної програми України на 2018–2022 роки передбачає впровадження як першочергових проєктів подальшого розвитку досліджень, так і створення нових технологій ДЗЗ для вирішення актуальних задач промисловості, сільського господарства, науки, національної безпеки і оборони.

Нова концепція космічної програми передбачає створення протягом десяти років власного угруповання апаратів ДЗЗ у складі 6–8 супутників різної роздільної здатності, які пролітають над територією в різний час доби з таким розрахунком, щоб можна було отримати оперативну, якісну та неупереджену інформацію. До 2022 р. планується запустити перші чотири КА. Далі цю групу поповнить один супутник на рік.

Задачі ДЗЗ в країні вирішуються цілим рядом установ та організацій, детальніше ознайомитися з діяльністю деяких з них можна в наступному підпункті 1.4.

При підготовці спеціалістів з ДЗЗ викладаються навчальні курси у низці закладів вищої освіти України: Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, Київському національному університеті будівництва і архітектури, Національному

технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Національному аерокосмічному університеті імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Національному університеті «Києво-Могилянська академія», Національному авіаційному університеті, Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Державній академії житлово-комунального господарства, Національному університеті «Львівська політехніка» тощо.

В останні роки приділялася увага розробленню нормативної та науково-методичної бази ДЗЗ, проведенню наукових досліджень. У 2002–2003 рр. НКАУ спільно з ДКБ «Південне», ЦАКДЗ та ДП «Дніпрокосмос» розроблений перший український національний стандарт з ДЗЗ «Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять», який затверджений і чинність якому надано наказом № 155 Держспоживстандарту України від 15.09.2003 р. Створено також Національний стандарт з ДЗЗ «Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення та інтерпретування даних». Інститутом агроєкології і природокористування НААН розроблено стандарт «Дистанційне зондування Землі з космосу. Наземні дані щодо контролю стану посівів і продуктивності сільськогосподарських культур», затверджений Мінекономрозвитку України від 01.01.2014 р.

У 2004 році видано «Словник з ДЗЗ», який містить систему термінів та понять, що використовуються у галузі ДЗЗ, та їх тлумачення. Протягом 2004–2010 років в Україні виконано великий об'єм наукових та науково-практичних досліджень з різних напрямків ДЗЗ, серед яких екологічний моніторинг довкілля; оперативний моніторинг повеней, підтоплень, лісових пожеж та інших природних катастроф; оцінка стану трубопроводів; пошуки корисних копалин; оцінка стану сільськогосподарських угідь та прогнозування врожаю; прогнозування змін земних систем та клімату з використанням космічної інформації тощо. Частина розробок українських фахівців з ДЗЗ запатентована в Державному департаменті інтелектуальної власності України. Частина цих матеріалів опублікована в журналі «Космічні науки і технології» та фаховому електронному журналі «Український журнал дистанційного зондування Землі» [4].

1.4. Підприємства та установи у сфері дистанційного зондування Землі в Україні



Рис 1.4. Структура підприємств, установ та організацій у сфері ДЗЗ в Україні

Національне космічне агентство України (з 2011 року — **Державне космічне агентство України** — ДКАУ) створене у 1992



році з метою реалізації державної політики в галузі космічної діяльності. До сфери управління ДКАУ входять понад тридцять промислових підприємств, науково-дослідних інститутів і конструкторських бюро, завдяки яким Україна відома на світовому ринку своєю космічною продукцією: ракетами-носіями «Зеніт-2», «Циклон-3», «Дніпро», апаратурою стикування «Курс» для Міжнародної космічної станції; унікальними об'єктами наземної інфраструктури та ін.

**Державний науково-виробничий центр
аерокосмічної інформації, дистанційного
зондування Землі та моніторингу навколишнього
середовища «Природа» (ДНВЦ «Природа»)**

ДНВЦ «Природа» — це державна установа, яка протягом понад 25 років забезпечує архівацію, обробку і передачу зацікавленим міністерствам, відомствам, установам (серед яких — Рада національної безпеки і оборони України, Міноборони, Мінекології, Мінагрополітики України, обласні державні адміністрації) даних космічного знімання та входить до наземного інформаційного комплексу Державного космічного агентства України. На замовлення користувачів центр виконує роботи та надає послуги з обробки матеріалів ДЗЗ, з розробки та підтримки баз даних, зі створення тематичних ГІС, профільних геопорталів та спеціалізованих інформаційних сервісів тощо.



Історія створення центру сягає 1992 року, коли у складі Українського державного інституту інженерно-геодезичних вишукувань та зйомок (УкрДІІГВІЗ) був створений науково-дослідний і виробничий центр космічної інформації «Природа».

Основні напрямки діяльності ДНВЦ «Природа»:

- Функціонування архіву даних ДЗЗ (архівування, каталогізація та розповсюдження даних ДЗЗ; обробка даних ДЗЗ на замовлення користувачів).
- Функціонування та розвиток відомчого геопорталу Державного космічного агентства України (ДКА) для розповсюдження супутникових і геопросторових даних.
- Створення пілотних проектів галузевих геоінформаційних сервісів з рекламними та маркетинговими цілями в інтересах державних та комерційних замовників.
- Впровадження технологій дистанційного зондування та геоінформаційних систем для здійснення екологічного моніторингу.

Існуючий архів даних дистанційного зондування ДНВЦ «Природа» є найбільшим в Україні. Він містить дані аеро- та космознімання і складається з двох частин: архіву даних на фотоносіях та архіву цифрових даних.

У цифровому вигляді зберігається інформація, отримана з супутників «Січ-1», «Січ-2», «Океан-О», «Метеор-3 М», «Ресурс-Ф», TERRA/MODIS, IKONOS, SPOT-4, 5, NOAA, ERS-1, Landsat-4, Landsat-5, Landsat-7, IRS, Quick Bird, ALOS, EROS, Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat 8, Dove (Planet).

Архів на фотоносіях містить дані космічного знімання, отримані фотокамерами KATE-200, МК-4, КФА-1000, КФА-3000, та дані аерофотознімання.

Офіційний сайт: www.pryroda.gov.ua

Центр аерокосмічних досліджень Землі

Розвиток ДЗЗ в Інституті геологічних наук НАН України



У відділі тепломасопереносу в земній корі Інституту геологічних наук (ІГН) АН УРСР починаючи з 1974 р. започатковано роботи з впровадження фізико-математичних методів в аерокосмічні дослідження Землі при вирішенні теоретичних і прикладних геолого-геофізичних завдань [5].

Центр було створено в 1992 р. на базі цього відділу та Київського науково-дослідного інституту космоаерометодів колишнього Міністерства нафтової і газової промисловості СРСР та АН СРСР.

При ЦАКДЗ ІГН НАН України працює Центр колективного користування спектрометричною апаратурою. А в 2014 р. засновано наукове фахове електронне видання «Український журнал дистанційного зондування Землі».

У Центрі розвивається наукова школа «Енергомасообмін у геосистемах». Досліджуються процеси енергомасообміну в геосистемах та їх вплив на фізико-хімічні та біологічні механізми, які відповідають за формування спектрального відгуку природних об'єктів. Дослідження мають фундаментальний та прикладний характер.

Головне завдання Центру — проведення фундаментальних та прикладних наукових досліджень Землі дистанційними методами з метою одержання нових наукових знань і практичного впровадження цих знань в інтересах інноваційного розвитку України та задоволення економічних, соціальних та оборонних потреб.

Центр розробляє і пропонує ефективні методи і технології для:

- дистанційного пошуку нафтогазових покладів на суходолі та шельфі;
- агроаудиту, оцінювання стану та врожайності сільськогосподарських культур на основі комплексного аналізу аерокосмічних і польових даних;
- дистанційного оцінювання екологічного стану територій і акваторій;
- аерокосмічного моніторингу тепловтрат на урбанізованих територіях;
- космічного моніторингу і аудиту балансу парникових газів тощо.

Розроблені в Центрі аерокосмічні методи і технології вирішення природоресурсних задач захищено понад 70 патентами України.

Офіційний сайт: www.casre.kiev.ua

Мала академія наук України

Мала академія наук України (МАН України) — освітня система, яка забезпечує організацію і координацію науково-дослідницької, конструкторської, винахідницької та пошукової діяльності учнів нашої країни, формує умови для їх інтелектуального, духовного, творчого розвитку, професійного самовизначення, сприяє формуванню наукового потенціалу держави.



МАН України у своїй діяльності інтегрує найкращі досягнення педагогічної практики закладів загальної, середньої та вищої освіти і фундаментальних наукових досліджень установ Національної академії наук України та Національної академії педагогічних наук України. Визнані науковці і фахівці на громадських засадах працюють з юними дослідниками, надають можливість вихованцям МАН України користуватися спеціалізованими бібліотеками, фондами, архівами та лабораторіями.

В освітньому просторі нашої держави на сьогодні актуальною є проблема підвищення якості позашкільної освіти. Зокрема, одним з інноваційних векторів діяльності Комунального позашкільного навчального закладу «Київська Мала академія наук учнівської молоді» — територіального відділення МАН України — є впровадження ІТ, а саме використання ГІС та ДЗЗ при підготовці учнями науково-дослідницьких робіт. Оскільки цей напрямок в нашій країні розвивається лише на рівні вищої освіти, то здобутки Київської МАН можна вважати плацдармом практичного впровадження ГІС та ДЗЗ у систему як шкільної, так і позашкільної освіти.

У 2013 році у відділенні наук про Землю КПНЗ «Київська Мала академія наук учнівської молоді» відкрито нову секції — «ГІС у географії». За час діяльності секції «ГІС у географії» заняття відвідали близько 200 учнів столиці, понад 30 з них брали участь у районному та міському етапах Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України.

Базовими методичними ресурсами застосування ГІС у дослідницькій діяльності учнів Київської МАН є програма з позашкільної освіти дослідницько-експериментального напрямку «ГІС у географії», навчальні посібники «Основи створення електронних карт на базі програмного забезпечення ArcGIS 10.1», «Відображення культурної спадщини України з використанням електронних карт у середовищі ГІС «МАН України».

Офіційний сайт: www.man.gov.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ГІС та ДЗЗ є одним із пріоритетних напрямків вищої природничої освіти більшості високорозвинених країн світу. Актуальний моніторинг і володіння сучасними ІТ у природничій освіті уже практично нерозривні процеси. В Україні існує багато закладів вищої освіти, які готують спеціалістів у цьому напрямку — це і КНУ імені Тараса Шевченка, Національний авіаційний університет, Київський національний університет будівництва і архітектури тощо.



Розглянемо детальніше вивчення ГІС та ДЗЗ в одному з найкращих університетів України — КНУ імені Тараса Шевченка [6]. Тут студенти мають можливість опанувати спеціальність ГІС та ДЗЗ на географічному факультеті та у навчально-науковому інституті «Інститут геології». Випускники після закінчення навчання є фахівцями, які володіють методами застосування сучасних геоінформаційних технологій, даних ДЗЗ, необхідних при проведенні робіт із землеустрою, в муніципальних інформаційних системах, вміють запроваджувати ГІС в управління територіями [7].

Офіційний сайт: www.geol.univ.kiev.ua/depts/geoinf

Дослідницько-освітня лабораторія OSGeo КНУ

Перша в Україні дослідницько-освітня лабораторія вільного геопросторового програмного забезпечення (Open Source Geospatial — OSGeo). Заснована в 2014 р. на кафедрі фізичної географії та геоєкології географічного факультету КНУ ім. Т. Шевченка [8]. Головною місією її є розвиток співпраці між академічними, виробничими, урядовими та громадськими організаціями в галузі вільних ГІС та відкритих геоданих.



Лабораторія працює над багатьма проектами, для реалізації яких застосовує матеріали ДЗЗ, а також розробляє навчальні курси. Крім практичної реалізації проектів, також в лабораторії розробляють переклади документації та прикладів застосування QGIS, SAGA. Наприклад, вони переклали посібник користувача модуля Напівавтоматичної класифікації, який застосовується для дешифрування космічних знімків.

Офіційний сайт: www.lab.osgeo.org

ТОВ «ТВІС»

Товариство з обмеженою відповідальністю «ТВІС» — це приватна компанія, яка з'явилася на ринку послуг ДЗЗ на початку 2010-х рр., позиціонуючи себе як перший український супермаркет супутникових знімків. Завдяки прямим контрактам з компаніями операторами, «ТВІС» здійснює продаж комерційних радарних та оптичних да-



них з високим просторовим розрізненням (від 30 см до 3 м), наприклад таких як Pleiades 1 A/B, WorldView-1–4, GeoEYE, Spot 6/7, Kompsat 3/3 A, Deimos-2, Planet, а також моделей рельєфу лінійки продуктів Airbus Defence and Space. Також компанія пропонує послуги із дешифрування аерофотознімків, створення та оновлення топографічних карт і орто-фотопланів, а також зйомку безпілотниками.

Починаючи з 2010-го року, ТОВ «ТВІС» є організатором щорічної міжнародної конференції та бізнес-форуму GISTECH.UA, що відбувається зазвичай у травні у Києві. Ця подія збирає разом фахівців та зацікавлених користувачів технології ДЗЗ/ГІС, що працюють в Україні. Так, у 2018 році форум відвідали представники 160 українських організацій.

Офіційний сайт: www.tviss.com.ua

1.4. Стан та перспективи розвитку дистанційних методів дослідження Землі в Україні

Введення даних ДЗЗ у глобальний інформаційний простір дало безліч **перевар**: дозволяє істотно поліпшити метеорологічні прогнози; забезпечити моніторинг навколишнього середовища з унікальними характеристиками за масштабністю, повторюваністю й оперативністю; відкрило додаткові можливості при вирішенні завдань природокористування, контролю забруднень, запобігання розвитку катастрофічних процесів тощо. Досягнуті успіхи лягли в основу висновку Всесвітньої конференції з питань сталого розвитку (Йоганнесбург, 2002 р.) про неможливість сталого розвитку світової економіки без використання аерокосмічних систем спостереження Землі.

Сервіси, що пов'язані з вирішенням завдань спостереження Землі, розвиваються найбільш динамічно й послідовно. В останні п'ять років сумарні доходи у цій галузі зростають на 4–5% за рік, а річний приріст доходів у сфері сервісів спостереження Землі становить 8–10%. Якщо 2010 року дохідний бюджет сервісів спостереження Землі становив 1,0 млрд. дол., то 2016-го він склав вже до 2,0 млрд, а до 2020-го, за прогнозами аналітиків Єврокомісії,

цей ринок досягне суми 5,3 млрд дол. Серед причин такого швидкого зростання виділяють такі: коло потенційних користувачів інформаційних продуктів роботи систем ДЗЗ дуже широке, тут є дуже велика лінійка послуг, і вони легко масштабуються, а самі послуги можуть надаватися в часі, близькому до реального, аж до online. Важливо, що серед користувачів ДЗЗ-продуктів є як державні структури (реальний сектор економіки, служба геокадастру, силові відомства, наука тощо), так і приватний сектор (агрохолдинги, фермери, ресурсовидобувні компанії тощо). Усе це разом взяте робить ринок ДЗЗ економічно дуже привабливим.

Викладене показує, що рівень ДЗЗ у країні залишається досить високим і вітчизняні вчені й фахівці успішно вирішують найскладніші науково-прикладні завдання.

Однак разом із тим необхідно зазначити, що дослідження у сфері ДЗЗ могли б розвиватися значно інтенсивніше, а результати швидше впроваджуватися в реальний сектор економіки й служити справі оборони країни, якби вдалося подолати низку існуючих негативних факторів і обставин. Зокрема, у планах Державного космічного агентства України — розробка і виведення на орбіту космічних систем серії «Січ» для дистанційного моніторингу довкілля. Однак успішний вихід із продукцією систем «Січ» на міжнародний ринок космічної інформації практично неможливий без валідації її на наземних тестових полігонах за стандартизованими правилами, розробленими міжнародним Комітетом із супутникового спостереження Землі CEOS (Committee on Earth Observation Satellites). Тому одне з актуальних завдань — узгодження (гармонізація) української нормативно-термінологічної бази з міжнародними стандартами.

Загалом, першочерговим вбачаються наступні задачі, спрямовані на розвиток ДЗЗ в Україні:

1. Розроблення та створення державної системи ДЗЗ і відпрацювання її взаємодії з державними та міжнародними системами моніторингу навколишнього природного середовища.
2. Виконання науково-прикладних задач з оброблення і використання аерокосмічних даних в інтересах вирішення природо-ресурсних та природоохоронних задач (екологічний моніторинг

країни і окремих регіонів; прогнозування врожайності сільсько-господарських культур і пожежонебезпечності лісів; пошук нафтогазових покладів; оцінювання стану міських агломерацій (зсуви, підтоплення тощо) та якості земель; вивчення сучасних геодинамічних процесів при реструктуризації вугільних шахт та ін.).

3. Розроблення методичного та програмного забезпечення для підтримки державних і галузевих програм з моніторингу навколишнього природного середовища.

4. Проведення наземних та підсупутникових (авіаційних) калібрувально-завіркових робіт на українських наземних та морських полігонах, результати яких можуть становити інтерес також для калібрування матеріалів зйомок з зарубіжних та міжнародних КА.

5. Налагодження взаємокорисного ефективного співробітництва з міжнародними організаціями і програмами.

6. Покращання науково-методичної, інформаційної та науково-видавничої роботи: проведення конференцій, семінарів і виставок, видання науково-технічних, навчально-методичних та довідково-інформаційних матеріалів, сприяння комерціалізації даних і підготовки кадрів з ДЗЗ.

1.6. Міжнародні організації

Міжнародне товариство фотограмметрії (нині Міжнародне товариство фотограмметрії та дистанційного зондування (англ. International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)))



заснував 4 липня 1910 року професор Едуард Долежаль з Віденського технологічного університету. Є найстарішою міжнародною організацією у своїй сфері [10]. ISPRS — неурядова організація, спрямована на розвиток міжнародної співпраці у галузі фотограмметрії та ДЗЗ, їх прикладного застосування шляхом заохочення та полегшення наукових досліджень та розробок, а також створення наукових мереж та проведення міждисциплінарних заходів.

Наукові інтереси товариства охоплюють фотограмметрію, дистанційне зондування, геопросторову інформацію і стосуються

таких дисциплін, як картографія, геодезія, дослідження Землі і захист довкілля.

Офіційний сайт: www.isprs.org

Європейське космічне агентство, ЄКА (англ. ESA) — це міжнародна організація, що займається здійсненням спільних космічних досліджень, а також практичним використанням штучних супутників. Була утворена в 1975 році на конференції у Парижі європейськими державами-членами Європейської конференції з космосу (Бельгія, Великобританія, Данія, Іспанія, Італія, Нідерланди, Франція, ФРН, Швейцарія, Швеція). Штаб-квартира ЄКА знаходиться в Парижі (Франція).



Діяльність організації орієнтована на сприяння і розвиток співробітництва країн у галузі космічних досліджень, створення та практичне застосування космічної техніки і технологій в мирних цілях [11]. Нещодавно, весною 2018 року, Україна підписала угоду про співробітництво з Європейським космічним агентством.

В діяльності ЄКА наукові дослідження відіграють ключову роль, а фокусуються вони на:

- технологіях для експлуатації космосу в галузях навігації (проект «Галілео»), глобального моніторингу за навколишнім середовищем і безпекою (система Copernicus, що раніше мала назву GMES — Global Monitoring for Environment and Security) і супутникових телекомунікацій;
- технологіях космічного транспорту, які життєво важливі для забезпечення незалежного доступу в космос для Європи;
- розвиток наукових напрямків діяльності в космосі, наприклад в рамках використання Міжнародної космічної станції або пов'язаних з освоєнням космосу.

Створення ЄКА дало можливість ЄС вже в 70-х роках стати третьою, після СРСР і США, космічною «державою», що володіє потужною інфраструктурою, здатною створювати всі види власних КА (крім пілотованих) і виводити їх на орбіти власними носіями з власних космодромів (носії серії «Аріан») [12].

Офіційний сайт: www.esa.int/ESA

Національне управління з авіації і дослідження космічного простору, НАСА (англ. National Aeronautics and Space Administration (NASA)) — агентство уряду США, засноване



1958 року для досліджень у галузі авіації й космічних польотів. Штаб-квартира розташована у Вашингтоні.

Перша космічна програма НАСА почалася з запуску КА «Піонер» у 1958-му, який збирав інформацію для подальших пілотованих польотів, найвідомішим з яких став політ на Місяць «Аполлона-11» 16–24 липня 1969 року [13].

З моменту свого заснування НАСА провело більшість досліджень з космосу в США, включаючи місію «Аполлон-11», космічну станцію «Скайлаб», а пізніше космічний шаттл. НАСА підтримує Міжнародну космічну станцію та здійснює нагляд за розробкою багатоцільового екіпажу «Оріон», системи космічного запуску тощо.

Наукові дослідження НАСА спрямовані на вивчення Землі через систему спостереження Землі, проведення геліофізичних досліджень за допомогою зусиль науково-дослідної програми «Геліофізика». Також Агентство досліджує космічні тіла по всій Сонячній системі,



Рис. 1.5. Графіка НАСА «Подорож на Марс» [13]

використовуючи передові технології, та займається вивченням тем з астрофізики, таких як «Великий вибух», через пов'язані програми.

Поточні дослідження НАСА: місії, пов'язані з вивченням Місяця, Меркурія, Марса та Сатурна, а також спостереження за Сонцем. Іншими активними місіями КА є *Юнона* для Юпітера, *Нові горизонти* (для Юпітера, Плутона та інших) і *Світанок* для астероїдного пояса [13].

З 2017 року НАСА офіційно оголосило, що працює над відправкою людей на Марс до 2033 року.

Американське космічне агентство NASA випускає книгу космічних знімків, які демонструють супутникові зображення як унікальні витвори мистецтва. Дане видання називається «**Земля як мистецтво**», і в ньому зібрані кращі знімки із різних ділянок Землі. Ознайомитися з нею можна за адресою: www.nasa.gov/connect/ebooks/earth_art_detail.html.

Офіційний сайт: www.nasa.gov

Глобальна система спостереження за планетою Земля (ГЕОСС) (англ. The Global Earth Observing System of Systems (GEOSS)).

Після проведення першого Саміту спостережень за Землею у 2003 році ведеться робота зі створення скоординованої системи спостережень за нашою планетою на базі існуючих систем спостережень [14]. А вже на третьому Саміті в 2005 році в Брюсселі був прийнятий Десятирічний план здійснення ГЕОСС (GEOSS).



Системи спостереження Землі складаються з приладів, що призначені для вимірювання, контролю та прогнозування фізичних, хімічних та біологічних показників. Метеостанції записують стан повітряних мас, температуру та тенденції кліматичних змін; буї, які плавають в океанах, відстежують температуру і солоність води; гідролокаційні та радіолокаційні системи оцінюють популяцію риб та птахів; станції сейсмічної та глобальної системи позиціонування (GPS) записують рухи земної кори та зміни рельєфу планети; високотехнологічні супутники сканують планету з космосу; потужні комп'ютеризовані моделі генерують симуляції

та прогнози; а системи раннього попередження випускають попередження щодо можливості виникнення небезпечних ситуацій.

Всі ці системи, як правило, працюють окремо одна від одної. Проте останніми роками запуснено в роботу складні технології для збору великої кількості даних спостереження Землі високої роздільної здатності в режимі реального часу. У той же час вдосконалені моделі прогнозування та інструменти підтримки прийняття рішень дедалі більше дозволяють повною мірою використовувати цей потік інформації.

Оскільки витрати на матеріально-технічне забезпечення розширення спостережень Землі є дуже великими і не під силу державам самотужки, саме об'єднання різних систем спостережень через міжнародне співробітництво забезпечує суттєву економію коштів та дає змогу отримати повну картину стану Землі.

GEOSS підтримує принципи спільного використання даних, які мають на меті забезпечити повний та відкритий обмін даними, метаданими та продуктами. GEOSS поширює інформацію та аналіз безпосередньо користувачам. GEOPortal є єдиним інтернет-шлюзом до даних, вироблених GEOSS.

У GEOSS виділяють основні дев'ять сфер, в яких використовують їхні дані: катастрофи, охорона здоров'я, енергетика, клімат, вода, погода, екосистеми, сільське господарство та біорізноманіття.

Офіційний сайт: www.earthobservations.org

Список використаних джерел

1. Історія фотографії в фото [Електронний ресурс]. — 2012. — Режим доступу до ресурсу: www.volynnews.com/news/rest/istoriya_fotografii_v_foto.

2. Holubí fotografie ze vzduchu [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://cs.wikipedia.org/wiki/Holub%C3%AD_fotografie_ze_vzduchu.

3. Барінова А. Как и когда появилась голубиная фотография [Електронний ресурс] / Анастасія Барінова — Режим доступу до ресурсу: www.nat-geo.ru/science/1194637-golubi-fotografy-vremya-kogda-ne-bylo-dronov/.

4. Лялько В.І., Попов М.О. Досліджуючи землю : перемоги й біди українського космосу. — К. : Дзеркало тижня, № 34, 2017.

5. Мичак А.Г., Філіпович В.Є., Приходько В.Л. та ін. Аерокосмічні дослідження геологічного середовища. — Мінприроди України. Державна геологічна служба. — К., 2010. — 246 с.

6. Консолідований рейтинг вишів України 2018 року [Електронний ресурс] // Освіта.ua. — 2018. — Режим доступу до ресурсу: <http://osvita.ua/vnz/rating/51741/>.

7. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. ННІ «Інститут геології». Кафедра геоінформатики [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.geol.univ.kiev.ua/depts/geoinf/ua/>.

8. Дослідницько-освітня лабораторія OSGeo КНУ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://lab.osgeo.org.ua/index.html>.

9. ECOMM Co. О нас [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://ecomm.in.ua/o-nas/1-post1.html>.

10. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Society_for_Photogrammetry_and_Remote_Sensing.

11. Європейське космічне агенство [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://cyclor.com.ua/content/view/1072/58/1/13/#24778>.

12. Предприятие. Европейское космическое агентство [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://goo.gl/8RZpLR>.

13. NASA [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/NASA>.

14. Глобальна система спостереження за планетою Земля [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://goo.gl/uuhmCk>.

An aerial photograph of a city, likely Kyiv, featuring a large central lake (Kyiv Lake) surrounded by urban development. The image is used as a background for the book cover.

Розділ 2

**ФІЗИЧНІ ОСНОВИ
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ
НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА**

Розділ 2.

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1. Електромагнітне випромінювання

Світло — це електромагнітна радіація (EMP) у певному діапазоні електромагнітного спектра. Якщо зобразити світло в схематичному вигляді — то воно виглядатиме як графік електричного і магнітного поля, які коливаються перпендикулярно одне одному. **Електромагнітний спектр** — це «система, що класифікує за довжиною хвилі всю енергію (від короткохвильової космічної до довгохвильової радіо), що гармонічно рухається з постійною швидкістю світла» (NASA, 2013).

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

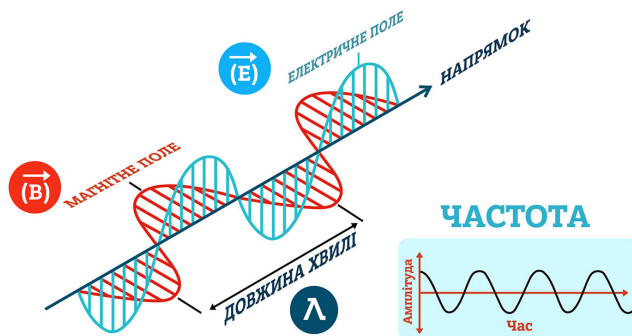


Рис. 2.1. Електромагнітні хвилі

Явище розкладання білого світла на спектр було відоме досить давно (Декарт ще в 1629 році вияснив хід променів у призмі та склі різної форми), але пояснив його І. Ньютон в 1666 році, коли успішно провів дослід розкладення променя світла призмою [1]. Біле світло складається із суми простих кольорових променів, з яких найбільше заломлюються фіолетові, а найменше — червоні. Кожен колір спектра є монохроматичним, тобто однокольоровим, і кожному відповідає своя довжина і частота хвилі. Саме вони створюють електромагнітний спектр.

Довжина хвилі — відстань між двома сусідніми гребнями, або западинами, хвиль. За своєю суттю це відстань, яку проходить хвиля за проміжок часу, який дорівнює одному коливанню. Довжини хвиль дуже різноманітні (від наномікронів до десятків кілометрів).

Частота хвилі — це кількість повних коливань, які здійснює хвиля за 1 секунду. Тобто, чим коротші хвилі, тим більша в них частота.

Саме через зміну своїх довжин і частот хвилі набувають специфічних властивостей та діляться на гамма-, бета-, альфа-, рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове, видимі промені, інфрачервоне та радіохвилі.

Розподіл електромагнітних хвиль за різними частотами називають *спектром*.

Всі властивості електромагнітних хвиль такі самі, як і хвиль іншої природи:

- 1) поширюються рівномірно і прямолінійно в однорідному середовищі;
- 2) відбиваються діелектриками та провідниками за законами відбивання хвиль;
- 3) заломлюються;
- 4) фокусуються;
- 5) дають явища дифракції та інтерференції;
- 6) поляризуються.

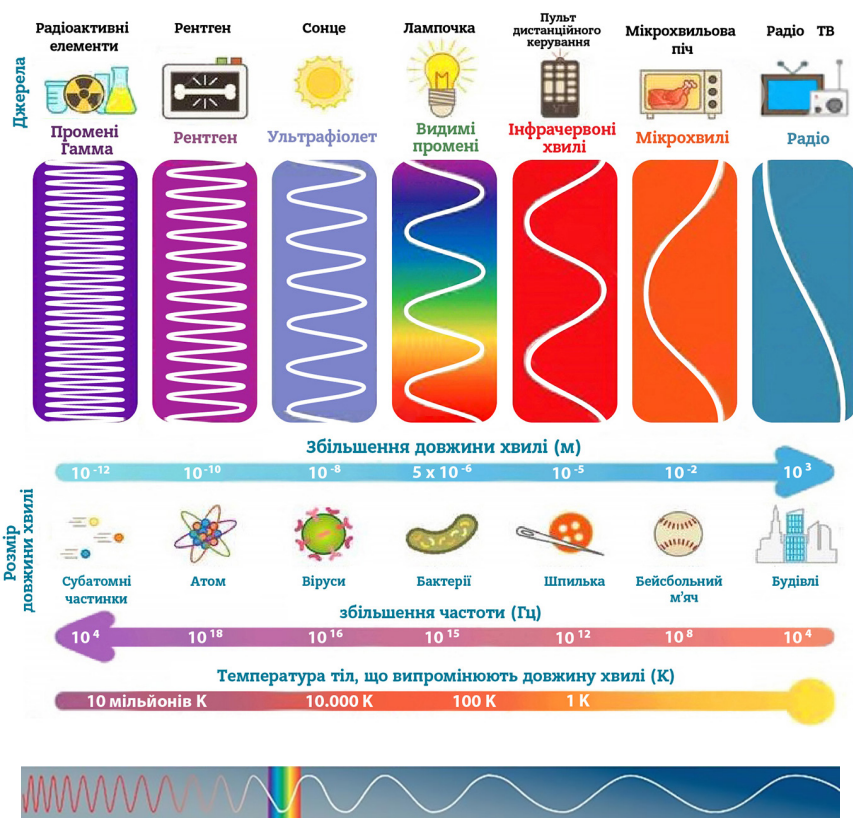


Рис. 2.2. Шкала електромагнітних хвиль

Для отримання даних ДЗЗ використовують такі діапазони електромагнітного випромінювання, як ультрафіолетовий, видимий, інфрачервоний, мікрохвильовий і радіодіапазон.

Ультрафіолетовий діапазон (0,1–0,38 мкм) застосовують для оцінювання стану рослин і водойм, а також для визначення поширення малих доз газових домішок та озону в атмосфері.

Видимий (0,38–0,74 мкм) діапазон та **інфрачервоний** (0,75–1000 мкм), який через свій широкий діапазон ділиться на три частини: ближнє (0,75–1,5 мкм), середнє (1,5–3 мкм) та довгохвильове (3–1000 мкм) випромінювання (див. рис. 2.3).

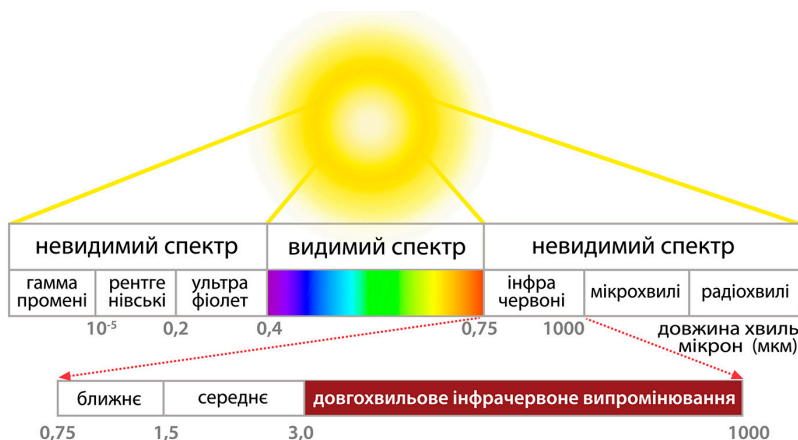


Рис. 2.3. Схема поділу спектра інфрачервоного випромінювання

Ближній інфрачервоний та видимий діапазони широко використовують для знімання лісових масивів. Принцип отримання інформації полягає в тому, що під дією різних умов відбувається зміна спектральних характеристик об'єктів на земній поверхні. Наприклад, хлорофіл, що міститься в листі, поглинає червоні й сині промені, тоді як зелені в основному відбиває. У синій і червоній зонах видимої ділянки спектра здатність відбивання променів рослинами дуже низька. Зате в ближньому інфрачервоному діапазоні фіксуються максимальні значення коефіцієнтів відбиття. Тому при вивченні стану лісів ефективно використовуються знімки в «крайній червоній» зоні (довжина хвилі — 0,7–0,75 мкм) видимої ділянки спектра та в ближньому інфрачервоному діапазоні (0,78–0,88 та 0,9–1,05 мкм відповідно).

Колір — суб'єктивна характеристика світла, яка відображає здатність людського зору розрізняти частоту електромагнітних коливань у ділянці видимого світла. У спектрі виділяють 7 кольорів: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий, а вже при їх накладанні утворюються інші кольори. Для нашого зору найбільше значення мають червоний, зелений та синій кольори. І саме завдяки тому, що різні тіла по-різному відбивають, заломлюють та поглинають світло, ми бачимо все навколо кольоровим.

Відомо, що електромагнітні хвилі, які випромінюють предмети, мають різну довжину. Довгі хвилі нами сприймаються як червоно-оранжеві, короткі — як зелені та голубі.

Сітківка ока складається з декількох прошарків, серед яких є шар клітин, чутливих до світла й кольору. У сітківці містяться два види клітин: палички, чутливі до інтенсивності світла, і колбочки, що є чутливими до кольору. Колбочки можуть сприймати кольори тільки при доброму освітленні, тому вночі нам всі предмети здаються сірими.

Кожна жива істота на планеті сприймає та інтерпретує світ по-своєму. Те, що бачить людина — це мінімальна частка того, що можна побачити. Світ зовсім інший, не такий, яким ми його сприймаємо. Обмеженість людського зору не дає нам побачити те, що насправді навколо нас. Натомість методи ДЗЗ дозволяють нам побачити більше, вони відкривають людині реальний світ, який ми не можемо бачити через обмежені можливості нашого зору.

Тепловий діапазон (2,5 мкм — 1 мм) надає інформацію про теплове поле. Було встановлено, що в різних типах рослинності, в насадженнях різної щільності, складу й віку порід, у приземному шарі, на рівні поверхні і в ґрунті перепад температур досягає кількох градусів. Тобто застосування теплового знімання надає додаткову інформацію про ліси, умови місць їх зростання тощо.

Теплова зйомка може використовуватися для виявлення хворих, ушкоджених і сухостійних дерев, оскільки за температурною яскравістю вони різко відрізняються від здорової рослинності. Крім цього, теплова зйомка є одним з найкращих методів виявлення лісових і торф'яних пожеж.

Як відомо, 65–70% людського тіла складається з води, а активна резонансна частота води приблизно складає від 8 до 10 мкм і належить до довгохвильового випромінювання. Саме довгохвильова частина з довжиною хвиль від 4 до 14 мкм діє на організм людини з унікальною користю. Хвилі з довжиною 10 мкм можуть проникати до 2–3 см в глибину організму, зігріваючи тканини, органи, м'язи, кістки і суглоби. Саме на цій властивості інфрачервоного випромінювання заснований ефект теплового лікування. За таким же принципом працюють інфрачервоні обігрівачі, нагрівальний елемент яких передає енергію у діапазоні з частотою хвиль від 3 до 10 мкм.

Ця частина випромінювання відповідає випромінюванню людського тіла, тому будь-яке зовнішнє випромінювання з такими довжинами хвиль сприятливо впливає на людський організм.

Мікрохвильовий, СВЧ (1 мм — 1 м) — діапазон дає інформацію про топографічні характеристики територій та акваторій, запаси вологи в ґрунті й листках рослин, про впливи на рослини промислових викидів.

Радіодіапазон (1 м — > 10 км) надає інформацію про підстилаючу поверхню. Для радарного знімання характерні глибокі тіні, які використовуються для виявлення об'єктів зі значними перепадами висот. Радіодіапазон надає можливість аналізувати рельєф території, виявляти небезпечні природні процеси, такі як селі, зсуви тощо. Радіолокаційне знімання може проводитися за будь-яких погодних умов і в будь-який час доби.

Процеси розсіювання, поглинання та явище дисперсії в атмосфері

Сонячна енергія проходить від Сонця до Землі та вловлюється сенсором. Вздовж цього шляху сонячна енергія (NASA, 2013) [2]:

- Проникла — енергія проходить через атмосферу із зміною у швидкості відповідно до індексу заломлювання різних середовищ.
- Поглинена — енергія передається об'єкту через електронні або молекулярні реакції.
- Відбита — енергія повертається незміненою з кутом відбивання, що дорівнює куту надходження. Відбивальна здатність — це відношення відбитої енергії до тієї, що надійшла до тіла. Довжина хвилі відбитої (а не поглиненої) енергії визначає колір об'єкта.
- Розсіяна — напрямок поширювання енергії змінюється випадково. Розсіювання Рейлі та Мі — два найбільш важливі типи розсіювання в атмосфері.
- Випромінена — в дійсності, енергія спочатку поглинається, а потім випромінюється знову, зазвичай на довших довжинах хвиль. Об'єкт розігрівається.

Дисперсія світла — залежність швидкості поширення пучка світла в певному середовищі від кольору пучка (залежність абсолютного показника заломлення від довжини світлової хвилі). Це постійне явище в нашому житті, але ми не завжди його помічаємо.

Чітко зрозуміти і побачити дисперсію можна, подивившись на веселку. Сама веселка — дуже складне оптичне явище і потребує, щоб відбулося багато фізичних процесів. Вона виникає внаслідок розкладання дощовими краплями сонячних променів на сім кольорів, тобто дисперсія спостерігається в крапельках дощу.

Наукове пояснення веселки вперше дав Р. Декарт в 1637 році, а через 30 років І. Ньютон доповнив його теорію поясненням, як заломлюються кольорові промені в краплях дощу.

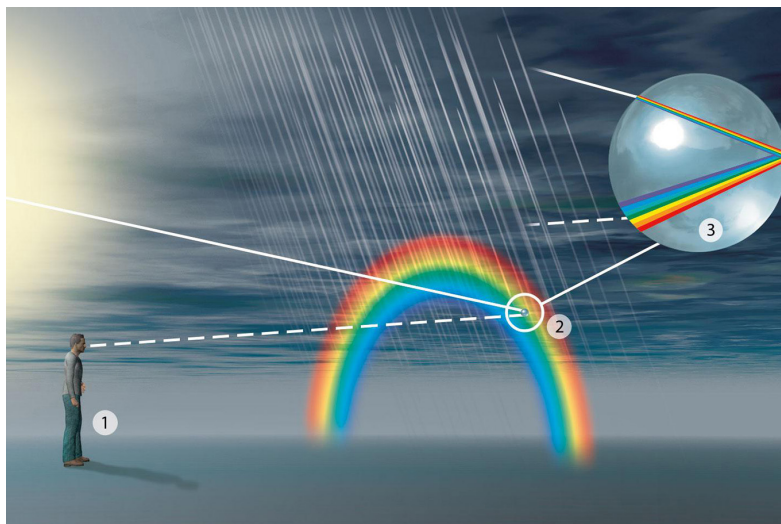


Рис. 2.4. Умови виникнення веселки [3]

Умови виникнення веселки:

1. З'являється тільки тоді, коли виглядає сонце з-за хмар, і тільки в стороні, протилежній сонцю.
2. Виникає, коли сонце освітлює завісу дощу.
3. Обов'язковою умовою є те, щоб кут висоти сонця над горизонтом не перевищувала 42° .

Проходячи через нечіткий бар'єр між вакуумом та атмосферою, сонячне випромінювання частково розсіюється атмосферними газами й аерозольними домішками, частково поглинається і переходить у теплоту, що нагріває атмосферу. Нерозсіяна і непоглинута в атмосфері пряма сонячна радіація досягає земної поверхні, частково відбивається нею, а більша частина поглинається і нагріває її.

Сонячне випромінювання з найбільшою дозволеною швидкістю долає мільйони кілометрів, щоб дістатися Землі. Але потрапляючи в газовий щит Землі — атмосферу, велика кількість радіації, серед якої багато шкідливої, поглинається. Водяна пара, кисень і озон, вуглекислий газ знижують передачу у певних довжинах хвиль, створюючи смуги поглинання в атмосфері. Частини електромагнітного спектра, для яких атмосфера прозора, називаються **атмосферними вікнами**. Наприклад, одне з них знаходиться у діапазоні 300–750 nm і пропускає ультрафіолет та видиме світло [4].

Поглинання

Більша кількість шкідливої іонізуючої радіації поглинається атмосферою, створюючи для людини комфортні умови життя на планеті. Приблизно 70% усього поглинання сонячної радіації в атмосфері відбувається завдяки воді.

Наприклад, *ультрафіолет* поглинається у верхніх шарах атмосфери. Енергія фотона ультрафіолету використовується, щоб розділити єдину молекулу O_2 на два атоми. Вільні атоми після цього поєднуються з молекулою кисню, щоб утворити молекулу озону [4]. Остання є не зовсім стабільною і під впливом ультрафіолету також розділяється на атом кисню та молекулу кисню.

Поглинання відбувається через взаємодію фотонів з молекулами в атмосфері. Молекули поглинають лише фотони з певним квантом енергії. Він має співпадати з кількістю енергії, яку потребує електрон, щоб перейти до іншого енергетичного стану чи підняти усю молекулу цілком на інший вібраційний рівень [4].

Розсіювання

Розсіювання світла — процес перенаправлення сонячної енергії через взаємодію з молекулами та частками, що знаходяться у атмосфері. Виділяють кілька типів розсіювання — це залежить від відносного

розміру частинок, що беруть у ньому участь, у порівнянні з довжиною сонячної радіації.

Розсіювання Рейлі спричинене молекулами кисню, азоту та дрібним пилом.

Розсіювання зростає зі зменшенням довжини хвилі, тож є залежним від неї. Це означає, що фіолетові та сині діапазони спектра більше розсіюються, ніж, наприклад, червоні (у 4 рази). Саме це надає небу синього кольору вдень. Під час заходу сонця світло має пройти більш довгий шлях у атмосфері і більше розсіюється. Синій «вичерпується», і тому небо виглядає червоним.

Розсіювання Мі спричинене димом, пилом, пилом та краплинками води.

Це розсіювання також має залежність від довжини хвилі, проте не таку високу, як розсіювання Рейлі. Чисте розсіювання Мі надає небу білуватого відтінку.

Невибіркове розсіювання спричинене більшими краплинами та пилом.

На відміну від попередніх типів, це розсіювання не залежить від довжини хвилі випромінювання. У ньому беруть участь доволі великі частинки з розмірами значно більшими за довжину хвилі. Частково завдяки цьому типу розсіювання хмари мають білий колір [4].

Частинк електромагнітного спектра, яку бачить людина, називають видиме світло (400–700 nm). У лабораторних умовах людина може бачити в інфрачервоному діапазоні до 1050 nm, а молоді люди та діти сприймають довжини хвилі в ультрафіолеті приблизно до 310–313 nm.

Проте деякі птахи та ссавці бачать світ «ширше», ніж люди — у частині ультрафіолетового спектра, а змії навіть можуть сприймати у інфрачервоному (див. табл. 2.1).



Рис. 2.5. Схема процесу розсіювання світла [5]

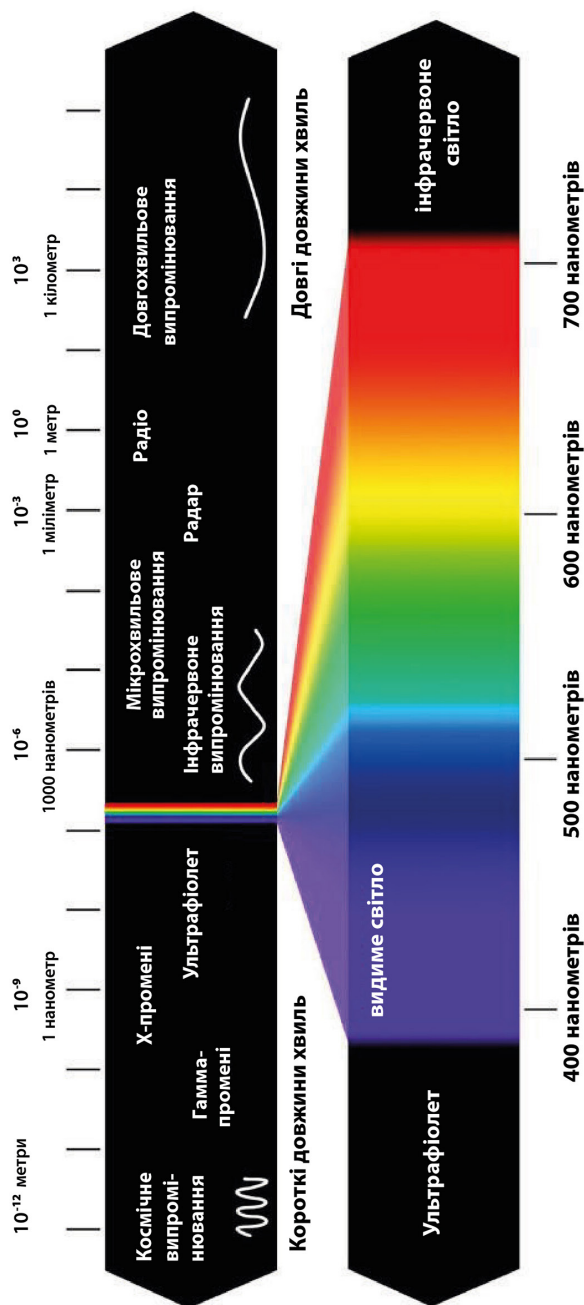


Рис. 2.6. Частка видимого світла в спектрі

Таблиця 2.1. Як бачать тварини (на основі [6] з доповненнями)

Квітка у видимому
діапазоні (а)
та в ультрафіолеті (б)



а

б

Квіти в інфрачервоному
діапазоні фотографу
Крейга Буровса [7]



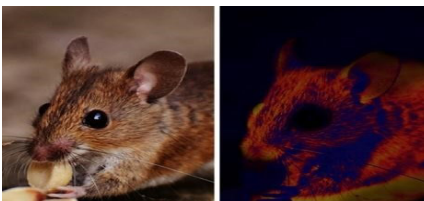
Голуб здатний розрізняти
більш тонкі градації кольору,
ніж передові комп'ютерні
програми. Його вважають
власником найпотужніших
очей. Ці птахи здатні бачити
в п'яти спектральних
діапазонах. Картинка а
показує, як бачить людина,
а б — можливість зору голуба.



а

б

Змія може бачити в двох
режимах. В першому режимі
вона бачить як людина, при-
чому досить добре розрізняє
всі кольори (а). В другому
режимі бачить світ немов
в інфрачервоному спектрі (б),
розрізняючи тепло, яке
випромінюють живі істоти.



а

б

Папуга (б) може сприймати весь видимий людиною колірний спектр (а) і ультрафіолет, причому останній — найважливіший для їхнього життя.



а

б

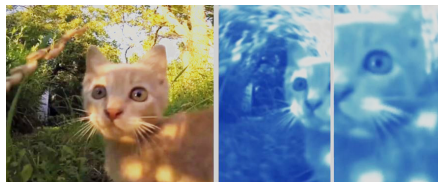
Риба має розвинене колірне сприйняття, розрізняє весь видимий людиною спектр (а) плюс ультрафіолет (деякі види риб бачать і в інфрачервоному діапазоні) (б).



а

б

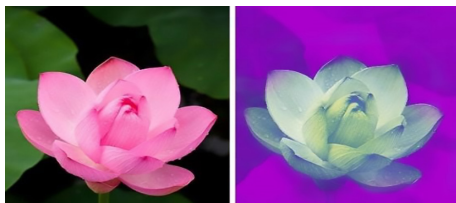
Миша має дихроматичний колірний зір. Розрізняє зелений і частково ультрафіолет. Погано розрізняє відтінки, але добре яскравість.



а

б ліве праве око

Бджола бачить більш широкий колірний спектр, що включає в себе ультрафіолетове світло (б). Це дозволяє їй легко знаходити пилок на квітах. Комахи бачать на квітах «посадкові смуги», які є невидимими для людського ока (а). В більшості випадків це концентричні кольорові кола або точки, які позначають, де в квітах є нектар. Дивним є те, що червоних троянд комахи практично не помічають, оскільки в ультрафіолеті вони не мають різкої зміни кольору.



а

б

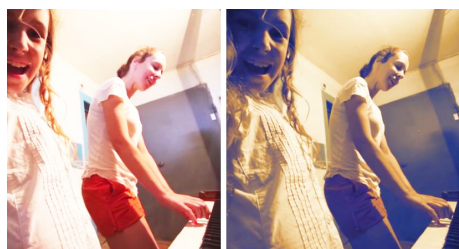
Собака не відрізняє червоний колір від зеленого, а обидва цих кольори — від жовтого і помаранчевого (б). Багато людей (а) і не підозрюють, що, дивлячись на світлофор, собака не розрізняє, яке світло.



а

б

У колбочках **кота** (як і у більшості інших ссавців, крім приматів (а)) відсутній пігмент, чутливий до червоного кольору (б). У деяких ссавців (головним чином, у приматів) є три види колбочок: одні з них чутливі до блакитного кольору, другі — до зеленого кольору, а треті — до жовто-зеленого та червоного кольорів.



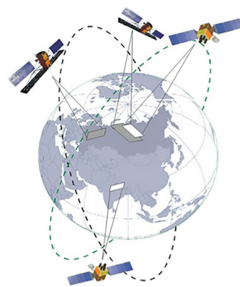
а

б

2.2. Загальна схема дистанційного зондування Землі

Наш світ одночасно переживає масові цифрові перетворення. Ми автоматизуємо все, вимірюємо все, що рухається і змінюється, з супутників та безпілотників. Розвиток технічних засобів, висока періодичність, оперативність і доступність матеріалів дистанційного зондування дозволяють нині реалізувати такі задачі, які раніше можна було виконати лише на дорогому професійному обладнанні.

Завдяки поєднанню наземної інформації з інформацією дистанційної зйомки території, використанню сучасної обчислювальної техніки і різноманітних математичних моделей можна отримати комплексне вивчення проблеми за допомогою дистанційного дослідження.



В залежності від того, які інформаційні потоки (отримують з різних за фізичним змістом знімальних систем) використовуємо, систему ДЗЗ можна поділити на:

- знімальні системи повітряного базування (цифрова аерофотограметрія);
- знімальні системи космічного базування (космічна фотограметрія);
- лідарні та лазерні системи повітряного базування (лідар-граметрія);
- радарні та радіолокаційні системи космічного базування (радар-граметрія).

Пасивне та активне ДЗЗ

Система ДЗЗ, яка проводить вимірювання природного випромінювання, працює за схемою **пасивного ДЗЗ**. Відповідно, ця система може проводити знімання тільки тоді, коли природне випромінювання доступне:

- вдень — у видимому діапазоні;
- вдень і вночі — в тепловому інфрачервоному та мікрохвильовому.

Існує також друга схема ДЗЗ — **активне**. Воно діє таким чином, що прилад, який розміщений на супутнику, має джерело випромінювання, яке направляє на об'єкт дослідження, а потім вже відбите випромінювання фіксується супутником.

Переваги:

- зйомка може проводитися в будь-який час доби;
- можливий контроль над потоком випромінювання, який йде від супутника;

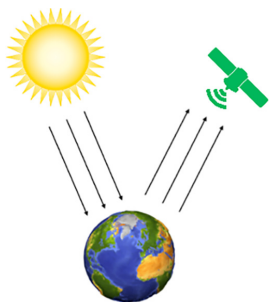


Рис. 2.7. Схема пасивного ДЗЗ

- можна використовувати довжини хвиль, котрі занадто слабко представлені в спектрах природних випромінювачів.

Прикладом активного ДЗЗ є **лідар** (англ. Light Identification Detection and Ranging (LIDAR) — «виявлення, ідентифікація і визначення дальності за допомогою світла»). Ця технологія використовується для

отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти і працює через явища поглинання і розсіювання світла в оптично прозорих середовищах, про які ви вже дізналися в підпункті 2.1. Цей метод зйомки вимірює відстань до цілі (об'єкт, який ми досліджуємо) шляхом підсвічування цілі імпульсним лазерним світлом і вимірюванням відображених імпульсів датчиком. Різниця часу повернення сигналу лазера і довжини хвиль можуть бути використані для створення цифрових 3D-моделей цілі [48].

Лідар зазвичай використовується для створення карт високої роздільної здатності. Дана технологія застосовується в різних галузях, наприклад в геодезії і картографії, археології, географії, геології, лісовому господарстві, метеорології тощо, а також для керування та навігації деяких автономних автомобілів [48].

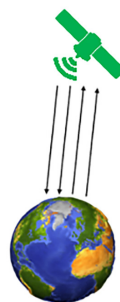


Рис. 2.8. Схема активного ДЗЗ

Системи дистанційного зондування: аерокосмічне та наземне

ДЗЗ поділяється на наземне та аерокосмічне (за базуванням носія, за допомогою якого отримують матеріали). **Аерокосмічне ДЗЗ (англ. remote sensing)** — здебільшого мається на увазі, коли носій базується в космічному просторі.

Ефективність системи ДЗЗ великою мірою залежить від ефективності наземної інфраструктури керування супутником, прийому, обробки та розповсюдження даних (**наземне ДЗЗ**). Супутникова інформація для потреб користувачів приймається на розподілену мережу приймальних пунктів [8]. В Україні це:

- Центр приймання та обробки спецінформації і контролю навігаційного поля (м. Дунаївці);
- Центр радіофізичного зондування Землі НАНУ-НКАУ (м. Харків) та інших організацій.

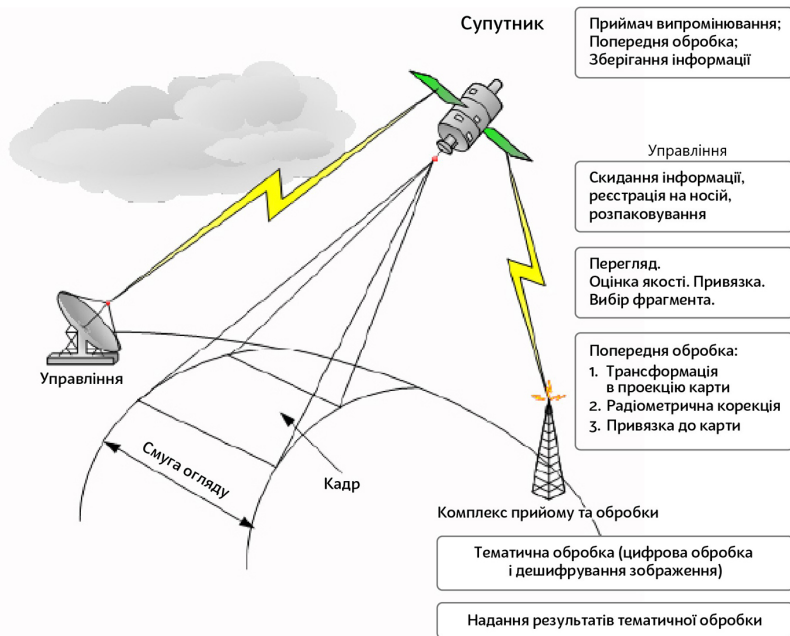


Рис. 2.9. Системи дистанційного зондування:
аерокосмічне та наземне [9]

2.3. Авіаційні носії

Для забезпечення можливості здійснення зйомки в ДЗЗ, знімальна апаратура встановлюється на носій, який піднімає її на потрібну висоту, переміщує відносно земної поверхні і забезпечує певне орієнтування в просторі.

За типом носіїв, що використовуються для систем ДЗЗ, їх поділяють на дві основні групи (рис. 2.10):

- авіаційні — літаки, гелікоптери, планери, мотодельтаплани, безпілотні літальні апарати, аеростати (дирижаблі та повітряні кулі);
- космічні — штучні супутники Землі та інших планет, орбітальні станції, міжпланетні апарати.

Для аерознімальників використовують або спеціально пристосовані літаки, або гелікоптери. Залежно від напрямку оптичної осі знімаль-

ного апарата розрізняють планове і перспективне аерознімання. **При плановому (вертикальному)** аерозніманні вісь знімального апарата приводять у стрімке положення, при якому знімок горизонтальний. Але через коливання літака в процесі польоту апарат нахилиється. У порівнянні з плановим, **перспективний знімок** охоплює велику площу, а зображення утворюється в більш звичному для людини ракурсі.

У знімальній системі повітряного базування є GPS-приймач (реєстрація лінійних елементів зовнішнього орієнтування) та інерційно-навігаційна система INS (реєстрація кутів нахилу знімальної камери). Ці технічні засоби постійно вдосконалюються, особливо це стосується такого параметра, як точність визначення кутів нахилу камери.

Дрони — це мобільний інструмент з високою деталізацією даних. Оскільки висота польоту дрона зазвичай знаходиться в рамках від 100 до 300 метрів над поверхнею землі, то можна отримати знімки з роздільною здатністю в сантиметрах на піксель. Дрони дозволяють збирати величезну кількість інформації в найкоротші терміни. Особливістю дронів є можливість використання спектральних камер, які дозволяють отримувати фотографії в ближньому інфрачервоному спектрі. На підставі таких знімків відбувається розрахунок NDVI-індексів [11].

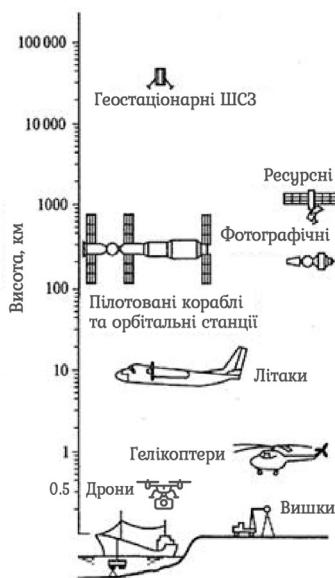


Рис. 2.10. Носії знімальних систем ДЗЗ
(на основі [10] з доповненнями)



Рис. 2.11. Схема зйомки земної поверхні з дрона [12]

Використання дронів має як сильні, так і слабкі сторони. Серед **плюсів** — оперативність зйомки, мобільність, висока точність (від 2 см), можливість зйомки в умовах хмарності. А серед **мінусів** — вплив погодних умов на якість результатів, наявність зон, де не можна проводити зйомку (території біля аеропортів, військових та режимних об'єктів), висока вартість якісного дрона.

Dronestagram — це перша соціальна мережа для фото, які були зроблені із дронів. Поки найбільш розвинена культура знімків з безпілотників у США, Франції, Великобританії, Бразилії та Італії.

National Geographic щороку робить підбірку фотографій-переможців конкурсу Drone Aerial Photography Contest серед користувачів порталу для обміну дрон-знімків Dronestagram. Всі знімки, зроблені із дронів, — унікальні, оскільки з дрона можна побачити світ так, як людина не побачить своїми очима. Це новий погляд на світ. У 2015 році серед знімків, які відібрали для участі в конкурсі, була світлина пожежі на нафтобазі у Васильківському районі Київської області.



Рис. 2.12. Пожежа на нафтобазі під Києвом в селі Крячки
Васильківського району (зйомка з дрона, 2015 рік) [12]

На сьогодні дрони — це одна з найкращих технологій, яка відкриває нові горизонти.

2.4. Космічні носії

Космічний моніторинг впевнено увійшов у повсякденне життя суспільства. Вчені підрахували, що більше 18 000 рукотворних об'єктів потрапили на земну орбіту на 2018 рік [13]. Всі вони знімають поверхню Землі та подають інформацію для подальшої обробки і вирішення конкретних завдань.

Технічний прогрес в галузі космічного знімання пов'язаний з:

- підвищенням просторової роздільної здатності знімальних систем;
- розширенням спектрального діапазону зареєстрованих зображень та отриманням багатоспектральних знімків.

Класифікація КА є завданням досить трудомістким, оскільки кожен апарат унікальний, а коло завдань, що розв'язують КА, постійно розширюється. Найбільш необхідними на сьогоднішній день є супутники зв'язку, навігаційні, ДЗЗ й наукові. Супутники військового призначення й супутники-розвідники становлять

окремий клас, але по суті своїй вони вирішують ті ж завдання, що і їх «мирні» побратими.

Щорічно запускаються в експлуатацію 20–25 нових систем. Піонером в напрямі створення систем надвисокої роздільної здатності є США, передусім фірми GeoEye та DigitalGlobe. Практично всі країни світу є учасниками спільних космічних міжнародних проєктів. США, Росія, Франція, Україна, Індія, Китай, Ізраїль, Японія, Німеччина та Італія взагалі мають власні системи космічного базування.

Британська компанія Earth-i в січні 2018 року запустила супутник VividX2. Це перший з 15 апаратів, який дозволяє побачити об'єкти розміром до 60 см зі швидкістю до 50 кадрів на секунду. Цього цілком вистачає, щоб бачити автомобілі на шосе і навіть людей. І це не військовий проєкт.

VividX2 може створювати відео в реальному часі для злітно-посадкових смуг аеропортів, відслідковувати рухи кораблів у гавані та вантажів по портах. Зображення можуть бути використані для контролю точної кількості автомобілів на автомагістралях, підрахунку кількості людей, що перетинають державний кордон, обчислення потужності вітрової електростанції у режимі реального часу та навіть для відстежування міграції птахів [14].

Інформацію з космосу одержують за допомогою знімальної апаратури, яка встановлюється на космічних літальних апаратах, що поділяються на: штучні супутники Землі (ШСЗ); пілотовані космічні кораблі (ПКК); пілотовані орбітальні станції (ПОС); автоматичні міжпланетні станції (АМС) [15].

2.4.1. Штучні супутники Землі (ШСЗ)

Почнемо з того, що якщо є природні супутники (для Землі — це Місяць, який ми інколи просто називаємо «супутник»), то існують і штучні супутники. Це об'єкти, які запущені на орбіту Землі чи іншого небесного тіла зусиллям людини. Ні супутникового телебачення, ні Інтернету не було б без ШСЗ, їх використовують як в практичних, так і в наукових цілях.

В 1957 році в Америці було очевидно, що дослідження космосу вже не за горами і скоро вони запустять супутник. Натомість в Радянському Союзі тримали інтригу та організовували мережу оптичних станцій спостережень. Восени 1957 року вже було побудовано 66 станцій при університетах, педагогічних інститутах, обсерваторіях.

Львівська станція була організована при фізичному факультеті Львівського університету і мала номер 1031. Колектив перших львівських спостерігачів ШСЗ складався з співробітників астрономічної обсерваторії і студентів фізичного факультету Львівського університету [16].

За час роботи станції в 1957–1968 роках отримали понад 5000 візуальних зображень положень 120-ти різних штучних космічних об'єктів.

В кінці 60-х років спочатку візуальні, а потім і фотографічні спостереження ШСЗ у Львові були закриті. Станція 1031 була перетворена у відділ Астрономічної обсерваторії.

Першим в історії штучним об'єктом, який здійснив суборбітальний космічний політ, була німецька ракета «Фау-2», успішне випробування якої було проведене на початку 1944 року. Саме із запуску цих ракет починались всі американські і радянські космічні програми.

В 1953 році в СРСР провели успішне випробування ракети Р-5, яка стала принциповим кроком вперед порівняно з «Фау-2». Маючи дальність польоту 1200 км, Р-5 стала першою радянською ракетою з ядерним зарядом. В 1956 році її прийняли на озброєння.

З 1954 року почалась розробка ракети Р-7 — першої в світі міжконтинентальної балістичної ракети. І саме за її допомогою був виведений на орбіту перший супутник, котрий передавав на Землю радіосигнали достатньої потужності, щоб їх можна було зареєструвати за допомогою любительської радіостанції. В січні 1958 року супутник почав відхилятися від орбіти і, очевидно, увійшовши в земну атмосферу, згорів.

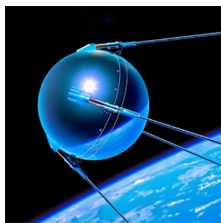


Рис. 2.13.

Перший штучний
спутник Землі [17]

Перший супутник

Початок польоту — 4 жовтня 1957 року
в 19:28:34 за Гринвіцьким часом.
Закінчення польоту — 4 січня 1958 року.
Період перебування на орбіті — 92 дні.
Здійснив 1440 обертів.
Маса — 83,6 кг.
Максимальний діаметр — 0,58 м.
Нахил орбіти — 65,1°.

В листопаді 1957 року СРСР запустив другий супутник з собакою Лайка на борту, а в травні 1958 року — третій. Потім почалися один за одним запуски нових супутників, зондів до Місяця і в міжпланетний простір.

Виділяють такі основні типи супутників:

- астрономічні — використовуються для дослідження планет, галактик та інших космічних об'єктів;
- біосупутники — призначені для проведення наукових досліджень та експериментів над живими організмами в умовах космосу;
- метеорологічні — використовуються для передбачення погоди, а також для спостережень за кліматом Землі;
- орбітальні станції — КА, призначений для довгострокового перебування людей на навколоземній орбіті з метою проведення наукових досліджень в умовах космічного простору.

2.4.2. Пілотовані кораблі

Пілотовані космічні кораблі — це КА, призначені для польоту людей у космос. Першим пілотованим космічним кораблем був «Восток-1», на борту якого 12 квітня 1961 року Юрій Гагарін здійснив перший політ людини у космос. А 16 червня 1963 року на борту пілотованого корабля Восток-6 здійснила політ перша жінка-космонавт Валентина Терешкова. Під час польоту на кораблі «Восход-2» — наступної серії пілотованих кораблів, що могли вмістити 3 людини на борту, — 18 березня 1965 року Алексей

Леонов вперше в історії людства вийшов у відкритий космос. До серій американських пілотованих кораблів належать Mercury (1961–1963 pp.), Gemini (1965–1975 pp.), Apollo (1968–1975 pp.), та багаторазовий KA Space Shuttle (1981–2011 pp.). Apollo-8 був першим пілотованим кораблем, що зайшов на орбіту Місяця, і під час місії Apollo-11 американський астронавт Ніл Армстронг першим ступив на Місяць. До останньої серії радянських, а тепер російських багатомісних пілотованих космічних кораблів належать КА серії «Союз», що працює з 1967 року і до сьогодні. Ще одним прикладом серії сучасних пілотованих кораблів є Shenzhou — китайські багатомісні пілотовані апарати, що були розроблені у 2003 році. Пілотовані космічні кораблі сьогодні застосовуються головним чином для доставки екіпажів та вантажів на орбітальні станції.

2.4.3. Орбітальні станції

Орбітальні станції — це КА, призначені для тривалого перебування людей на навколосезній орбіті для проведення наукових досліджень у космічному просторі, розвідки та спостереження за космічними об'єктами, а також поверхнею та атмосферою Землі. До орбітальних станцій належать КА серії «Салют», «Космос-557», SkyLab, «Мир», МКС (Міжнародна космічна станція), Genesis та «Тяньгун». Сучасні орбітальні станції базуються на модульній архітектурі. Окремі блоки чи модулі станції доставляються на орбіту поступово вантажними космічними кораблями, у залежності від потреб та технічних завдань і мети досліджень, які мають на ній проводитися. Частина радянських станцій «Салют» були об'єднані у програму «Алмаз», що проектувалася для завдань Міністерства оборони Радянського Союзу. Зокрема, 18 липня 1987 року відбувся успішний запуск автоматичного варіанта орбітальної станції «Алмаз», що мав позначення «Космос-1870». Високоякісні радіолокаційні зображення, що були отримані нею, знайшли широке застосування як у сфері оборони, так і для моніторингу природних ресурсів (рис. 2.14).

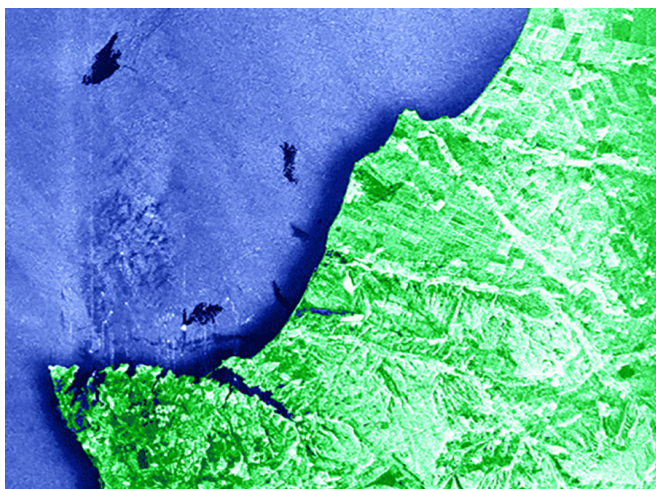


Рис. 2.14. Радіолокаційне зображення «Алмаз-1» (у псевдокольорі), акваторія Чорного моря біля північного берега Криму, чітко видно судна (білі точки), деякі з яких скидають забруднену нафтопродуктами баластову воду (чорні плями).
Джерело: архів ДНВЦ «Природа»

Міжнародна космічна станція

Міжнародна космічна станція (The International Space Station) — це пілотований штучний супутник, що рухається по орбіті Землі з висотою від 330 до 435 км (205 і 270 миль). На даний час МКС — це найбільший ШСЗ на орбіті. МКС має модульну структуру: різні її сегменти створені зусиллями країн-учасниць проекту і мають свою певну функцію: дослідну, житлову або використовуються як сховища. Програма МКС є спільним проектом п'ятих космічних агентств: NASA, Роскосмос, Агентства аерокосмічних досліджень Японії, Європейського космічного агентства та Канадського аерокосмічного агентства. З моменту прибуття першої експедиції на станцію (з 1 по 2 листопада 2000 року) минуло 18 років. Це найдовша безперервна присутність людини на орбіті Землі, що перевершила попередній рекорд 9 років і 357 днів, проведених на станції «Мир». МКС відвідували астронавти, космонавти та космічні туристи з 17 різних країн.

Історія створення та перспектива

Перший компонент МКС (російська «Заря») був виведений на орбіту в 1998 році і використовувався на ранньому етапі будівництва станції як джерело електроенергії, а також для керування орієнтацією в просторі, підтримував температурний режим. Зараз «Заря» використовується як склад. Останній модуль було встановлено в 2011 році. Спочатку планувалося, що станція МКС повинна пропрацювати на орбіті до 2010 року, на даний час називається інша дата — 2028 рік. На думку експертів, МКС не будуть топити в океані, а передбачається використовувати її як базу для збирання міжпланетних кораблів.

МКС — це найбільше людське творіння, що рухається по орбіті навколо Землі, яке часто можна побачити неозброєним оком із Землі. МКС служить лабораторією з досліджень мікрогравітації та космічного середовища, в якій члени екіпажу проводять експерименти з біології, фізіології людини, фізики, астрономії, метеорології та інших галузей.

Станція ділиться на дві секції — орбітальний сегмент Сполучених Штатів Америки (USOS) і Російський орбітальний сегмент (ROS), в якому проводять дослідження астронавти з багатьох країн.

Відповідно до початкового Меморандуму про взаєморозуміння між NASA і Роскосмос, МКС мала бути лабораторією, обсерваторією і заводом у космосі. Було також заплановано забезпечити транспортування, технічне обслуговування і використання МКС як проміжної бази для можливих майбутніх польотів на Місяць, Марс і астероїди. З 2010 року, згідно з національною космічною політикою США, МКС було надано додаткову роль — виконання комерційних, дипломатичних та освітніх завдань.

Екіпаж МКС надає можливості здійснювати експерименти, розроблені студентами на Землі, через освітні демонстрації, що дозволяє учням брати участь у кабінетній версії експериментів на МКС. За підтримки МКС ЄКА пропонує широкий спектр безкоштовних навчальних матеріалів, які можна завантажити для використання в освітніх цілях. Під час занять учні можуть переміщатися 3D-моделлю інтер'єру та екстер'єру МКС.

Також МКС пропонує велике різноманіття навчальних матеріалів для неформальної освіти. Зокрема, розглянемо деякі з них:

■ Міжнародне спостереження за Місяцем вночі [18] — це все-світнє святкування «місячної» науки та досліджень, що проводяться щорічно, починаючи з 2010 року. Один раз на рік випадає можливість разом спостерігати та вивчати Місяць у всьому світі. Подія відбувається у вересні чи жовтні, коли Місяць знаходиться в першій чверті. У цей період Місяць видно під час полудня та ввечері.

Найближчі дати для Міжнародного спостереження за Місяцем вночі:

5 жовтня 2019 року;

26 вересня 2020 року.

■ Хабл-сайт — розробка наукового інституту космічного телескопа (офіційний сайт — <http://hubblesite.org/>) (Space Telescope Science Institute), який має на меті поширити інформацію про космос в освітніх цілях.

Хабл-сайт дає можливість:

- за допомогою відеороликів ознайомитися з сузір'ями, планетами, об'єктами глибокого космосу, які можна побачити протягом кожного місяця на небі;
- побачити фотографії планет та інших космічних об'єктів, які зроблені з космічного телескопа, та прочитати додаткову інформацію про них.

- Також в освітніх цілях фахівці NASA підготували ряд ознайомчих та навчальних відеороликів «Не маленький крок» для учнів, які допоможуть ознайомитися з роботою та можливостями МКС.

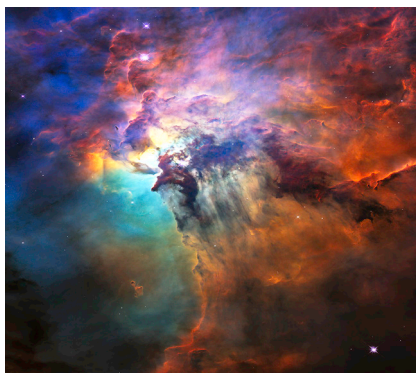


Рис. 2.15. Туманність Лагуна (видимий вигляд). Це барвисте зображення, зроблене космічним телескопом «Хаббл» NASA [19]

Загалом освітніх матеріалів, які базуються на роботі МКС, є дуже багато і тому вони розбиті на рубрики [20] в залежності від віку учасників: для викладачів, для студентів, дитячий клуб НАСА тощо.

2.5. Приклади найбільш популярних систем дистанційного зондування Землі (Landsat, Sentinel, Terra (Modis, Aster), RapidEye, Planet Labs)

Зазначені спостереження за Землею стають головним рушієм у так званій Четвертій промисловій революції — ері аналізу великих даних (the era of Big Data analytics).

Наявність даних від супутників, безпілотників і датчиків зростає швидше, ніж створюються механізми для їх обробки і використання. Тепер дані доступні в режимі реального часу та у багатьох різних форматах. Цей притік даних та легка доступність до баз даних створює сприятливе середовище для інновацій.

Відслідковувати геопросторові дані в режимі реального часу можна в Інтернеті за адресою — www.liveearth.com.

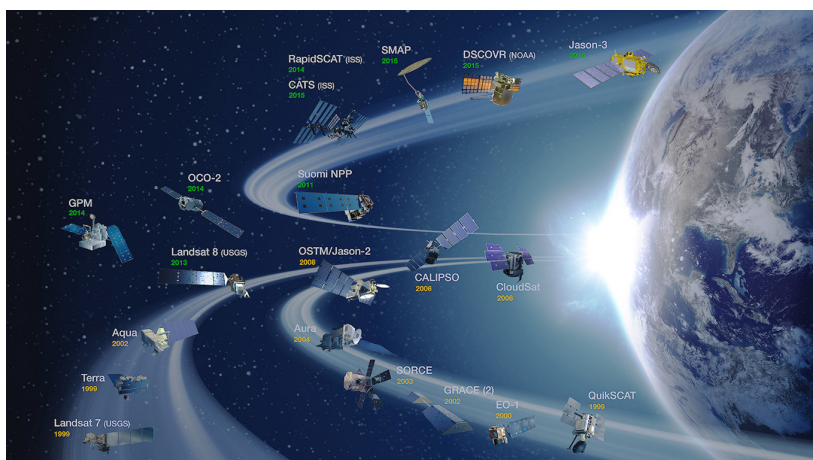


Рис. 2.16. Приклади супутників для проведення спостережень з космосу [21]

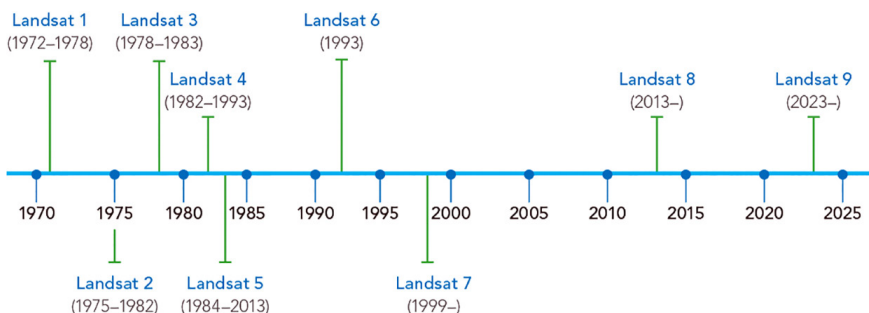
Унікальність геопросторових даних полягає в тому, що вони є інструментом, який дозволяє інтегрувати та аналізувати час і простір. Геопросторові дані застосовуються для того, щоб розробляти нові моделі та знаходити нові рішення. Саме геопросторова революція даних дозволяє нам комплексно дивитися на світ, вирішувати проблеми з більшою ефективністю та сприяє кращому процесу прийняття рішень.

Landsat

Програма Landsat — найтриваліший проект з отримання супутникових фотознімків планети Земля. Перший з супутників у рамках цієї космічної програми був запущений в 1972 році; останній, на цей момент, Landsat — 8–11 лютого 2013 року. Обладнання, що було встановлене на супутниках Landsat, зробило мільярди знімків.

Знімки, отримані в США і на станціях отримання даних із супутників по всьому світу, є унікальним ресурсом для проведення безлічі наукових досліджень у галузі сільського господарства, картографії, геології, лісівництва, розвідки, освіти і національної безпеки. Наприклад, супутник Landsat 7 надає знімки у 8 спектральних діапазонах з просторовою роздільною здатністю від 15 до 60 метрів на точку; періодичність збору даних для всієї планети становить 16–18 діб.

Хронологія запусків [22]:



Landsat 1 (спочатку ERTS-1, Earth Resources Technology Satellite 1) запущений 23 липня 1972 р., припинив роботу 6 січня 1978 р.

Landsat 2 (ERTS-B) запущений 22 січня 1975 р., припинив роботу 22 січня 1981 р.

Landsat 3 запущений 5 березня 1978 р., припинив роботу 31 березня 1983 р.

Landsat 4 запущений 16 липня 1982 р., припинив роботу в 1993 р.

Landsat 5 запущений 1 березня 1984 р., припинив роботу 21 грудня 2012 р.

Landsat 6 запустили 5 жовтня 1993 р., але його не вивели на цільову орбіту.

Landsat 7 запущений 15 квітня 1999 року та функціонує. У травні 2003 р. стався збій модуля Scan Line Corrector (SLC). З вересня 2003 р. використовується в режимі без корекції ліній сканування, що зменшує кількість отриманої інформації до 75% від початкової [23]. Landsat 7 має ті ж 7 каналів, що й Landsat 4 і 5, але має додатковий канал з широким спектральним діапазоном і розрізненням 15 м на 15 м. Крім того, просторове розрізнення в каналі 6 (тепловий ІЧ-діапазон) було збільшено з 120 до 60 м. Ці зміни поряд з високим рівнем точності дозволяють краще вивчати глобальні зміни і великомасштабне картографування [24].

Програма Landsat триває в рамках місії забезпечення безперервності даних Landsat. Зараз (2018 рік) на орбіті знаходиться Landsat 8, що був запущений 11 лютого 2013 року.

Запуск Landsat 9 заплановано на 2023 рік [26].



Рис. 2.17. Космічний знімок Landsat 8 — OLI річки з чорною водою, яка зустрічається з морем в Мексиканській затоці (20 лютого 2015 р.) [25]



Рис. 2.18. Продовження місії Landsat [26]

Нині дані ДЗЗ, отримані космічними апаратами Landsat, знайшли своє застосування більш ніж в 100 країнах. З них 17 країн, включаючи США, мають власні приймальні станції. Інформація, що надходить із супутників системи Landsat, широко використовується при вирішенні безлічі проблем економічного, наукового, політичного і військового характеру. Зокрема, дані ДЗЗ широко застосовуються в наступних сферах: географія, океанографія, гідрологія, геологія, вивчення природних ресурсів окремих регіонів, країн і землі в цілому, картування земної поверхні, контроль навколишнього середовища.

Sentinel

Copernicus — це європейська професійна програма, яка працює під керівництвом Європейського Союзу, а Європейське космічне агентство (ESA) координує космічну складову програми. Дана програма надає необхідні дані для оперативного моніторингу навколишнього середовища та цивільної безпеки. Всі дані є безкоштовними та знаходяться у відкритому доступі.

Місії Сентініел (англ. Sentinel)

ЄКА в даний час розробляє сім місій програми Sentinel. Місія Sentinel забезпечує радарні та мультиспектральні космічні знімки для спостереження за суходолом, океаном та атмосферою. Кожна місія Sentinel базується на двох супутниках, забезпечуючи надійні набори даних для якісного виконання всіх послуг програми Copernicus.



Рис. 2.19. Сім'я супутників Sentinel [27]

Місія Sentinel має наступні цілі [28]:

Sentinel-1 забезпечує денні та нічні спостереження при будь-якій погоді за радарними даними. Перший супутник Sentinel-1A був успішно запуснений у 2014 році, а другий Sentinel-1B через два роки — 25 квітня 2016 року.

Sentinel-2 забезпечує оптичні знімки з високою роздільною здатністю для моніторингу суші (наприклад, рослинності, ґрунтового покриву, внутрішніх водних шляхів і прибережної зони). Sentinel-2 також надає актуальну інформацію для рятувальних служб. Перший супутник Sentinel-2 успішно розпочав свою роботу 23 червня 2015 року.

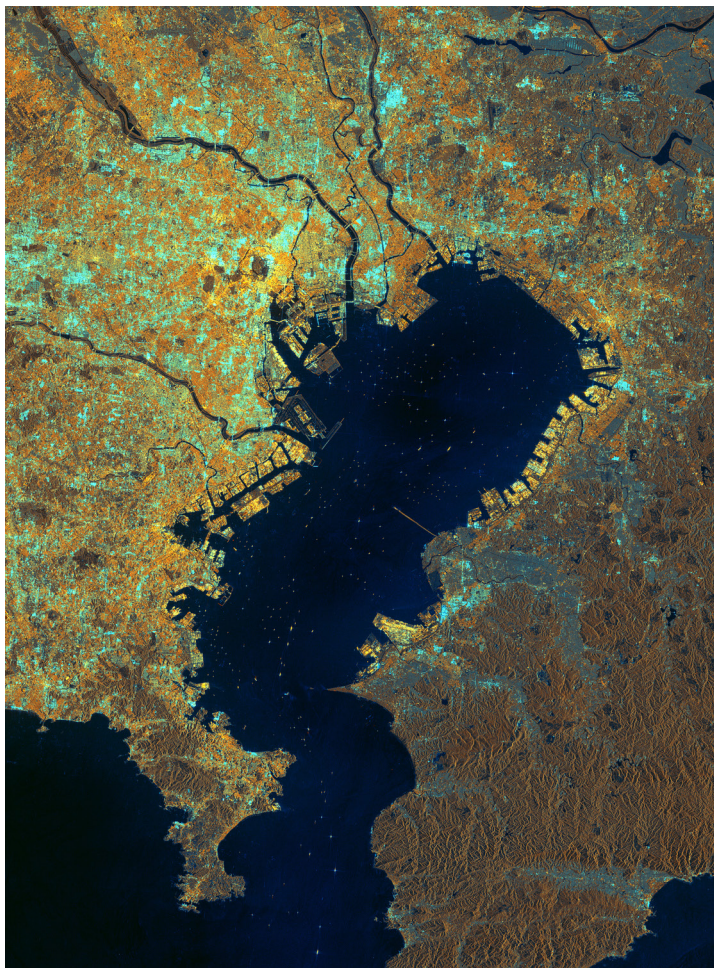


Рис. 2.20. Радарний знімок з Sentinel-1A 11 липня 2014 р.
Токійської затоки в Японії [29]

Sentinel-3 забезпечує моніторинг океану та глобальний моніторинг Землі. Перший супутник Sentinel-3A був запущений 16 січня 2016 р.

Sentinel-4 буде запущений у 2023 році. Він надаватиме дані для моніторингу атмосфери та буде працювати разом з супутником третього покоління Meteosat.

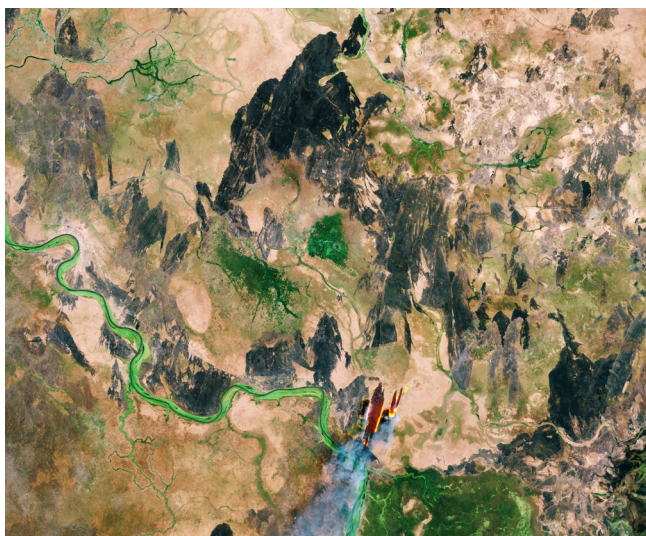


Рис. 2.21. Знімок території Південного Судану
з супутника Sentinel-2B [30]

Sentinel-5 Precursor містить набір датчиків Sentinel-5. Він був запусканий 13 жовтня 2017 р. Основною його метою є уникнення розриву даних спостережень, особливо атмосферних SCIAMACHY, між припиненням роботи ENVISAT у 2012 році та запуском Sentinel-5 у 2021 році.

Sentinel-5 буде надавати дані для моніторингу атмосфери. Він буде запусканий разом з KA post-EUMETSAT Polar System (EPS) і почне свою роботу з 2021 року.

Sentinel-6 має на меті підтримувати високоточні місії альтиметрії (вимірювання висоти над рівнем моря), виконані супутником Jason-3. Sentinel-6A, також відомий як Jason Continuity of Service (Jason-CS), планується запускати в листопаді 2020 року.

Sentinel-7 — це місія Carbonsat (вимірювання вмісту Карбону).

Sentinel-8 — це термічна інфрачервона місія.

Sentinel-9 — це інфрачервона місія вимірювань льоду та снігу.

Sentinel-10 — це гіперспектральна місія.

Також в рамках програми Copernicus з використанням даних супутників Sentinel на території Європейського Союзу створюються спеціальні служби [31]:

1) **Служба моніторингу земель** надає географічну інформацію про ґрунтово-рослинний покрив, яка може бути використана для просторового планування, ведення лісового господарства, управління водними ресурсами, сільського господарства і т. д.

2) **Служба морського моніторингу** забезпечує регулярне і систематичне оновлення інформації про стан океанів і морів, а також, у пріоритеті, — дані про течії, вітри і переміщення льоду на морях та океанах. Ця інформація покращить послуги маршрутизації кораблів, пошуково-рятувальних операцій, забезпечуючи безпеку на морі. А також служба сприятиме захисту і сталому управлінню морськими ресурсами, зокрема для рибальства, наукових досліджень тощо.

3) **Служба моніторингу атмосфери** забезпечує безперервні дані та інформацію про склад атмосфери. Щодня надається глобальна інформація про склад атмосфери, створюються карти поширення парникових газів (вуглекислого газу і метану), хімічно активних газів (наприклад, окису вуглецю, окислених сполук азоту, діоксиду сірки), озону і аерозолів.

4) **Служба управління в надзвичайних ситуаціях** надає необхідну своєчасну і точну геопросторову інформацію для ліквідації наслідків стихійних лих, техногенних надзвичайних ситуацій, а також гуманітарних криз.

5) **Служба змін клімату** відповідає за вирішення екологічних і соціальних проблем, пов'язаних зі змінами клімату, викликаних діяльністю людини. Служба надає доступ до інформації для моніторингу і прогнозування зміни клімату і, отже, сприяє підтримці адаптації і пом'якшенню наслідків.

6) **Служба безпеки** займається моніторингом прикордонних територій, морським спостереженням, зокрема у сфері прикордонного контролю, основними завданнями якої є скорочення кількості нелегальних мігрантів. Загальною метою Європейського Союзу в сфері морського спостереження є забезпечення безпечного використання моря і морських кордонів Європи.

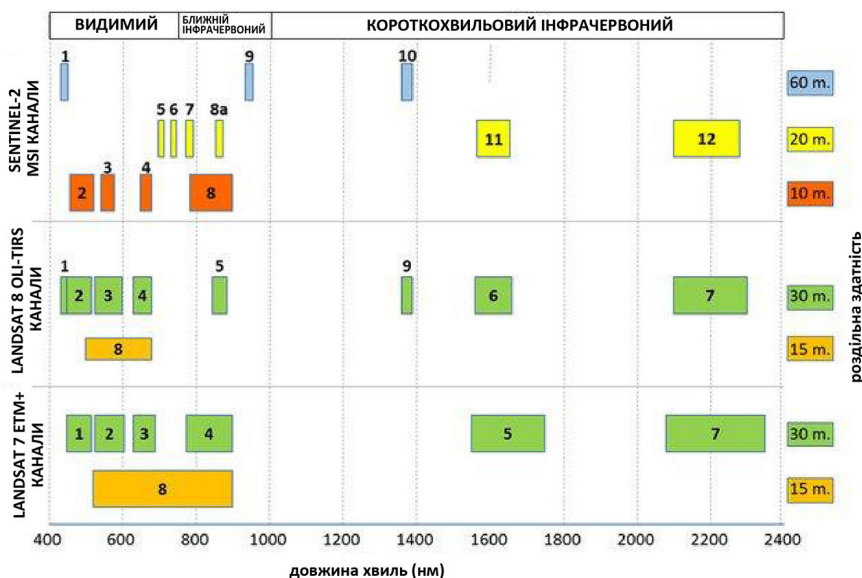


Рис. 2.22. Порівняння каналів Sentinel-2 та Landsat 7 і 8 [32]

Розміщення каналів Sentinel-2A в порівнянні з каналами Landsat 8 і Landsat 7 можна побачити на рис. 2.22. Супутник Sentinel-2A має спектральні канали, подібні до Landsat 8 (за винятком теплового каналу термічного інфрачервоного датчика Landsat 8). Серед 11 діапазонів Landsat 8 тільки короткохвильові (1–4 і 8) відповідають видимому спектру, інші — чутливі до тих областей спектра, які людське око не розрізняє. Супутник Sentinel-2 веде зйомку в 12 спектральних каналах, канали RGB і NIR мають 10-м просторову роздільну здатність.

Terra

У грудні 1999 року NASA запустило супутник Terra з місією системного спостереження Землі. Супутник Terra містить п'ять інструментів, які здійснюють спостереження за атмосферою Землі, океаном, землею, снігом та льодом, а також енергетичним бюджетом (рис. 2.23). Взагалі, ці спостереження дають унікальну інформацію про те, як працює система Землі та як вона змінюється. Ці спостереження показують вплив людства на планету та надають важливі дані про природні небезпеки, такі як пожежі та вулкани [33].

Енергетичний бюджет Землі, або радіаційний баланс земної поверхні, – різниця між сумарною (прямою і розсіяною) сонячною радіацією, поглиненою земною поверхнею, та ефективним опроміненням цієї поверхні; може бути позитивним (удень, влітку) і негативним (уночі, взимку) [34].

Terra має на борту п'ять наступних дистанційних зондів для спостереження за навколишнім середовищем і змінами клімату:

- ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) використовується для створення карт температури поверхні Землі, випромінювальної здатності, відбивної здатності і висоти;
- CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System) вимірює загальний обсяг радіаційного фону Землі та забезпечує оцінку властивостей хмар, що дозволяє вченим визначати роль хмар в радіаційному потоці від поверхні до вершини атмосфери;
- MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer) пристосований для вимірювання сонячного випромінювання, що відбивається Землею (як поверхнею, так і атмосферою) в різних напрямках і діапазонах спектра;
- MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) призначений для спостереження за глобальною динамікою планети Земля (зміни хмарності, радіаційний баланс і процеси, що відбуваються в океанах, на суші і в нижніх шарах атмосфери);
- MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere), здійснює спостереження за характером забруднення атмосфери [35].

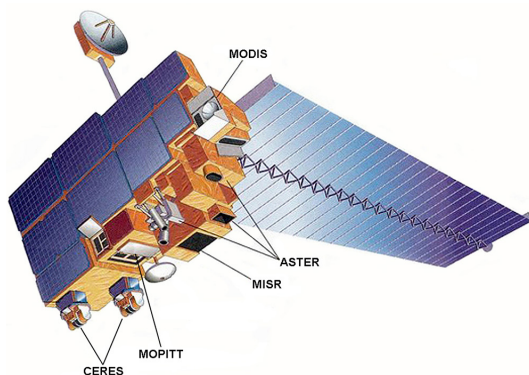
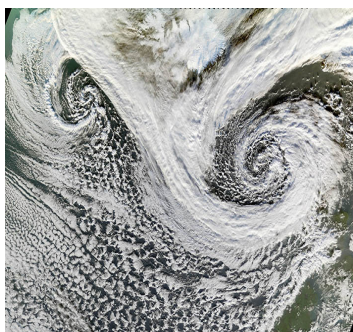


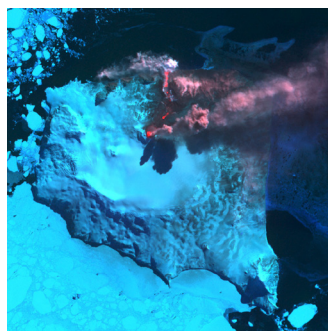
Рис. 2.23.
Ескіз КА Terra
з мітками
інструментів,
виконаний
в NASA [33]

Сканер MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) є одним з ключових інструментів на борту американських супутників Terra і Aqua серії EOS та знімає земну поверхню за траєкторією польоту смугою завширшки 2300 км, практично з щоденним глобальним повторенням, працює в 36 спектральних каналах (гіперспектральна зйомка) в діапазоні електромагнітних хвиль від 0,4 до 14,4 мкм. У двох каналах видимого та ближнього інфрачервоного спектра отримують знімки з розрізненням 250 метрів, у п'яти каналах видимого, ближнього та середнього інфрачервоного спектра — з розрізненням 500 метрів, у решті — 1000 метрів. Весь набір знімальних каналів MODIS дає змогу замінити дані знімальних систем SeaWIFS, AVHRR/NOAA з доповненням нових каналів у тепловому діапазоні. Сканер призначений для спостереження за глобальною динамікою планети Земля, що включає зміни в хмарності, тепловий баланс Землі і процеси, що відбуваються в океанах, на суші і в нижніх шарах атмосфери (рис. 2.24).

Тепловий баланс Землі — це баланс енергії процесів теплопередачі і випромінювання в атмосфері і на поверхні Землі [36].



а



б

Рис. 2.24. Приклади космічних знімків спектрорадіометру MODIS на супутнику Terra: а — зображення двох циклонів, які утворилися в тандемі (20 листопада 2006 року); б — зображення виверження вулкана гори Белінда на острові Монтая, яке було виявлено системою термічного оповіщення MODIS на основі теплових аномалій або «гарячих точок» у жовтні 2001 року [38]

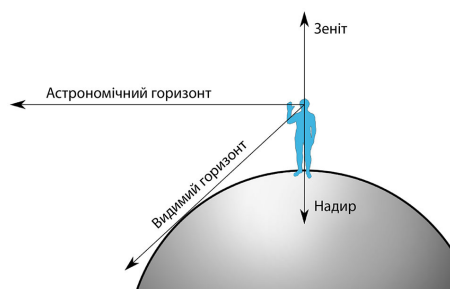
Отримати матеріали зйомок з Terra-MODIS можна безкоштовно. Глобальний каталог матеріалів розміщений за адресою: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>. В Україні приймання даних MODIS здійснюється в м. Дунаївцях (Хмельницька область).

Дистанційні дані MODIS можуть бути використані для вирішення різноманітних завдань з регулярного моніторингу природних явищ в межах великого регіону (контроль льодової обстановки, спостереження динаміки сніжного покриву, моніторинг лісових пожеж, паводкової ситуації, стану посівів на с/г полях і т. п.) [37].

Льодова обстановка — стан льодового покриву на морях, річках, озерах, водосховищах в конкретний момент часу або розподіл льоду за різними характеристиками у районі плавання.

На борту супутника Terra працює ще один багатозональний (гіперспектральний) **сканер** — **ASTER** (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*). Цей сканер має 14 спектральних каналів: три канали у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах з просторовим розрізненням 15 м (для стереозйомки), шість каналів у середньому інфрачервоному діапазоні з розрізненням 30 м та п'ять каналів у тепловому діапазоні з розрізненням 90 м. Смуга огляду ASTER становить 60 x 60 км.

Відхилення осі зйомки від надира ± 106 км для теплових та середніх інфрачервоних каналів і до ± 314 км — для видимого і ближнього інфрачервоного діапазонів не дає змоги забезпечити знімання будь-якої території частіше ніж один раз на 16 днів у всіх 14 каналах і один раз на п'ять днів у трьох каналах видимого і ближнього інфрачервоного діапазонів. Зйомка сканером ASTER є порівняно недорогою.



Надир (з араб. — протилежний) — уявна точка перетину прямовисної лінії до поверхні земного еліпсоїда з небесною сферою; точка небесної сфери, протилежна зеніту. Іншими словами, надир лежить у напрямку прямо вниз від спостерігача, до центра Землі [39].

Можна також отримати знімки через Інтернет за протоколом FTP (як правило, дані готові для перекачування через декілька годин, іноді через 1–2 дні). Великий обсяг знімків (близько 120 Мб для повного знімка) і обмежений час доступу (три дні з моменту замовлення, 24 години з моменту першого доступу) потребує високошвидкісного з'єднання, бажано мати програмне забезпечення з можливістю скачування при перериванні [37].

RapidEye

Угрупування з п'яти міні-супутників RapidEye було запущено з космодрому Байконур російською ракетою-носієм «Дніпро» 29 серпня 2008 р. Власником КА є компанія BlackBridge AG (колишня назва RapidEye AG) (Німеччина). Кожен з супутників, створених компанією MDA (Канада) спільно із SSTL (Великобританія), оснащений мультиспектральною оптико-електронною камерою виробництва Jena Optronics GmbH (Німеччина) для зйомки з просторовим розрізненням 6,5 м. Вага одного супутника RapidEye становить 150 кг (рис. 2.25).

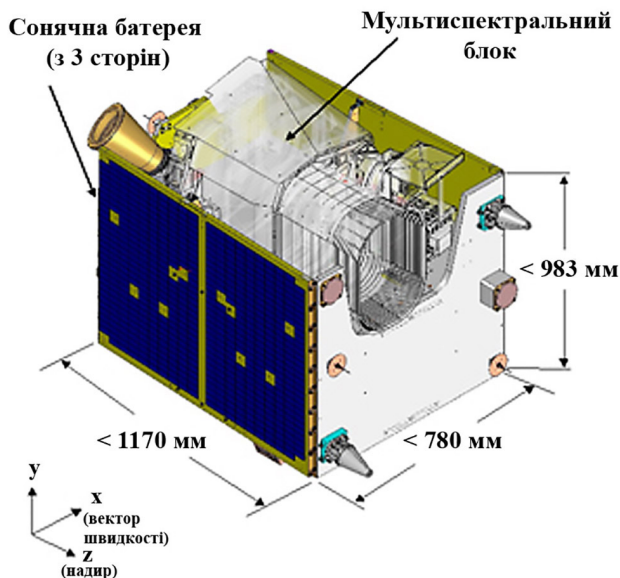


Рис. 2.25. Схема супутника RapidEye [40]
(image credit: SSTL, MDA, BlackBridge)

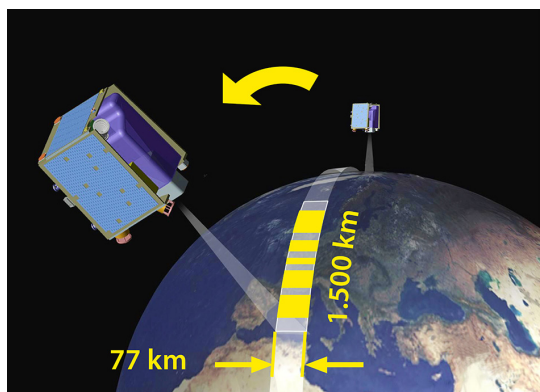
Зйомка земної поверхні цим супутником високої роздільної здатності ведеться в п'яти спектральних діапазонах. При цьому найбільш унікальним є канал «крайній червоний», який оптимально підходить для спостереження за змінами стану рослинного покриву. Запланований термін перебування супутників на орбіті становить 7 років. Кожен з супутників названий грецьким ім'ям — Tachys, Mati, Choma, Choros, Trochia (в перекладі, відповідно — Швидкий, Око, Земля, Космос, Орбіта) (рис. 2.26).

Супутники рівномірно розподілені на орбіті заввишки близько 630 км. Облітаючи Землю в напрямку з півночі на південь, вони перетинають екватор об 11 годині за місцевим часом з дистанцією близько 660 км і інтервалом близько 20 хвилин. Зйомка виконується сеансами з максимальною довжиною смуги 3000 км. В межах одного сеансу супутник може зняти ділянку поверхні Землі шириною 77 км і довжиною до 1500 км (рис. 2.27).



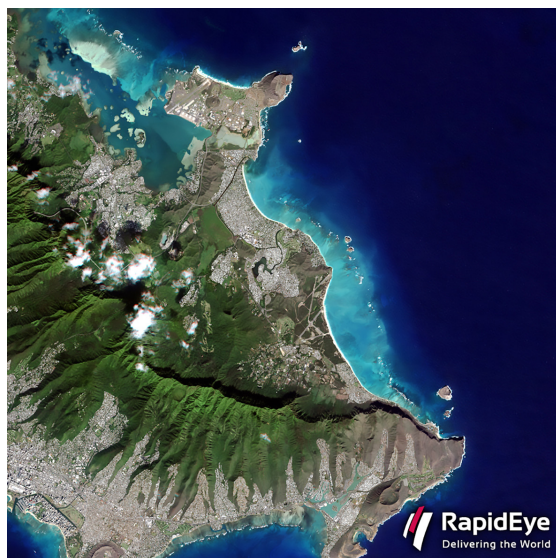
Рис. 2.26. Вигляд п'яти космічних апаратів RapidEye перед запуском [41]

Рис. 2.27.
Сеанс зйомки
RapidEye [40]



Таким чином, супутники RapidEye здатні забезпечувати щоденне покриття зйомками площу в 4 млн км². Параметри системи супутників RapidEye оптимізовані для вирішення завдань забезпечення даними багатьох галузей, але, в першу чергу, це сільське та лісове господарство; нафтогазовий комплекс, енергетика, телекомунікації; тематичне і спеціальне картографування; екологія та охорона навколишнього середовища; управління надзвичайними ситуаціями [40] (рис. 2.28).

Рис. 2.28.
Приклад
космічного знімку
RapidEye, Оаху,
Гаваї [42]



Planet Labs

Planet Labs — це стартап, створений колишніми працівниками NASA, які на самому початку познайомилися на одній з конференцій для молодих вчених, які цікавляться космосом. Основна ідея компанії — розробити сервіс, який за абонентську плату дозволяє подивитися, як виглядає прямо зараз будь-яка ділянка Землі. На відміну від карт Google, дані будуть оновлюватися щодня і дозволять практично в прямому ефірі стежити, як і що змінюється на цікавій для клієнта ділянці планети.

Planet займається проектуванням і виробництвом мініатюрних супутників для дистанційного зондування, які називають Doves (голуби). Сузір'я голубів-супутників Flock («Зграя») забезпечує глобальне покриття знімками роздільної здатності 3–5 м, які частково знаходяться у відкритому доступі. Planet наголошує, що, на відміну від багатьох компаній, які займаються ДЗЗ, сама проводить постійну розробку та вдосконалення супутників (наразі у виробництві 14-те покоління голубів) [43].

Doves — це невеликі циліндричні апарати з камерою і сонячними батареями, які можна виводити на орбіту відразу десятками. Один супутник не більший за коробку для взуття (10х10х30 см) та має вагу близько 5 кг, це — CubeSat. Невеликі легкі об'єкти простіше та дешевше доставити на орбіту. До того ж у разі невдалого старту втрата недорогих апаратів не катастрофічна. Життєвий цикл одного супутника розраховано на 3 роки, після закінчення роботи він повертається в атмосферу, де має повністю згоріти, не залишаючи після себе сміття на орбіті.

Супутники облаштовані сенсорами, що знімають у чотирьох спектральних каналах (синьому, зеленому, червоному та ближньому інфрачервоному) та забезпечують просторову роздільну здатність у 3–5 м, залежно від висоти польоту. Висота орбіт — близько 400 та 475 км.

Супутники знаходяться на двох орбітах: Міжнародної космічної станції та сонячно-синхронній. На сонячно-синхронній апарат

проходить один оберт приблизно за 90 хвилин, що дає 16 обертів навколо Землі на день.

А ще кожен «голуб» прикрашений графікою художника Фореста Стернза (рис. 2.29).

Flocks

Мета Planet Labs — щоденна зйомка Землі, тому вони планують створити ланцюг з супутників, що один за одним знімають поверхню планети, ніби сканер; відповідно, для досягнення такої мети, дійсно, необхідна велика кількість апаратів на орбіті (рис. 2.30).

За останні роки компанія запустила 233 супутники, використовуючи різні американські, індійські, японські та російські ракети. Супутники компанії часто прямують на орбіту як додаткове навантаження до великих більш важливих вантажів, що транспортувалися на ракетах [43].

Створювати «зграю птахів» у Planet розпочали у 2014 році, коли було запущено сузір'я Flock-1. Далі у 2015–2017 роках запущено Flock-2, а у лютому 2017-го компанія запустила найбільше сузір'я супутників в історії — Flock-3 — воно складається з 88 CubeSat-ів.

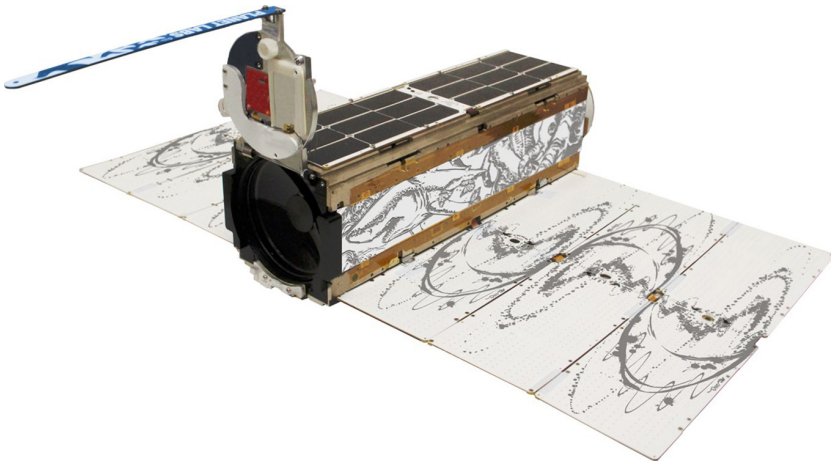


Рис. 2.29. Супутник Dove, фото Planet Labs [43]



Рис. 2.30. Фотографія серії супутників Planet Labs [43]

До того ж у жовтні компанія запустила шість супутників SkySat із субметральною роздільною здатністю, додаючи їх до семи апаратів, що вже були на орбіті.

Для управління усіма супутниками в компанії розробляють власне програмне забезпечення для автоматизації. Цей софт дозволяє невеликій кількості людей займатися плануванням зйомок, оновлювати програми на апаратах та завантажувати дані [43].

Знімки, отримані із супутників, доступні онлайн і можуть використовуватися для стеження за погодою, запобігання стихійним лихам, прогнозування урожайності (рис. 2.31). Після поглинання BlackBridge в липні 2015 року супутникове угруповання Planet Labs складається з 87 супутників Doves і 5 RapidEye. У 2017 році Planet запустила ще 88 Doves. У сукупності вони складають найбільше угруповання супутників, які коли-небудь існували на орбіті.

Більшість традиційних супутникових знімків показують поверхню Землі з великою деталізацією, але з одного ракурсу — строго перпендикулярно. У цьому випадку об'ємні об'єкти губляться на тлі всього іншого, тому команда Planet вирішила переналаштувати деякі супутники, включаючи 13 супутників SkySats, що знаходяться на висоті 450 км над Землею, і знімати в масштабі 80 см на піксель. Після цього супутники почали захоплювати зображення з певного кута. Різниця виявилася суттєвою (рис. 2.31, б).

2.6. Космічне сміття

Людство вже не в силі відмовитись від космічних технологій. Тому очевидним є збільшення супутників та космічного сміття.

Термін «космічне сміття» (англ. Space debris) буквально означає засміченість космічного простору. Ввели його ще в 80-х роках ХХ століття. Офіційно на міжнародному рівні ця проблема була визнана після доповіді «Вплив космічної діяльності на навколишнє середовище» (1993) Генерального секретаря ООН.

За офіційними даними, у космосі зараз зібралося вже 7500 тонн космічного сміття (BBC News, 2018). А всього обертається навколо нашої планети приблизно 70–150 тис. об'єктів розміром від 1 до 10 см, частинок менше 1 см в діаметрі — мільйони. На низьких орбітах, приблизно до 400 км, сміття гальмується верхніми шарами атмосфери і з часом падає на Землю, однак на геостаціонарних орбітах воно може перебувати необмежену кількість часу.

Ситуація з космічним сміттям з кожним роком все погіршується. У першу чергу будь-які частини космічного сміття (дрібні чи великі) впливають на об'єкти, які розміщені на орбіті. А також існує потенційна небезпека падіння уламків космічного сміття на Землю. Станом на 2018 рік в космосі літає ще й особистий електромобіль Tesla Roadster Ілона Маска, який він запустив у лютому.



Рис. 2.31. Приклад космічних знімків Planet Labs:

а — північна частина Криму, насичений різноманітний колір озер пов'язаний з життєдіяльністю мікроорганізмів [44]; *б* — тривимірне космічне зображення Дохи, Катар [44]

В основному все сміття зосереджене у двох ділянках. Перша — низькі орбіти на висоті 850–1200 км від поверхні Землі. Саме там рухається величезна кількість метеорологічних, військових, наукових супутників. А друга ділянка засмічення лежить в районі геостационарних орбіт (вище 30 000 км), там знаходиться біля 800 об'єктів різних країн. Кожного року ця кількість збільшується на 20–30 нових станцій.

Близько 85% космічного сміття — це великі частини ракет і блоків, з допомогою яких ШСЗ виводяться на орбіту, а також непрацюючі супутники. А близько 12% складають елементи конструкторцій, які від'єднуються в процесі запуску та підготовки до роботи ШСЗ.

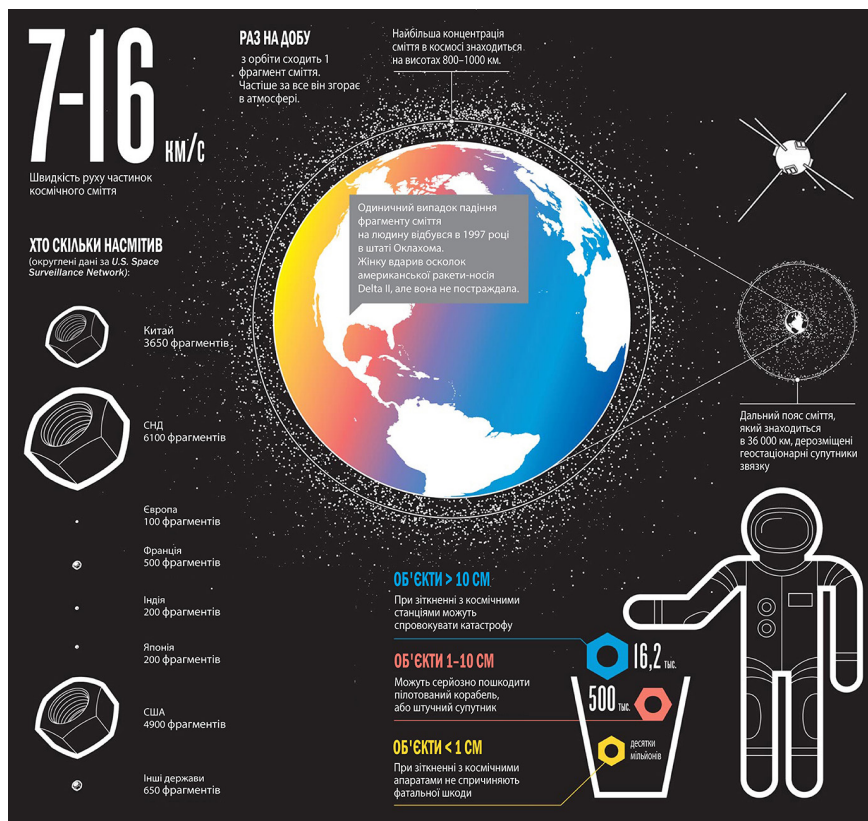


Рис. 2.32. Космічне сміття (на основі [45] з доповненнями)

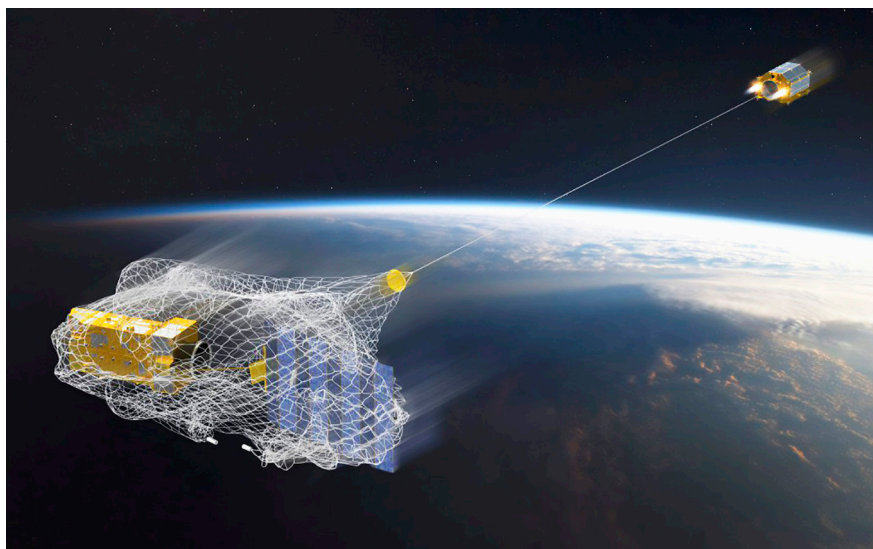


Рис. 2.33. Ілюстрація сценарію,
за яким RemoveDEBRIS зловив металевий уламок
космічного сміття [47]

На даний час вчені проводять експерименти, щоб визначити технологію для збору космічного сміття. В 2018 році британський супутник RemoveDEBRIS успішно викинув сітку для його збору. А 16 вересня за допомогою гарпуна він вперше зловив металевий уламок, випущений для імітації сміття [46]. Зараз проводяться подальші випробування даної технології, але існує реальний шанс для людства позбавитися хоча б частини об'єктів, які не функціонують, а тільки засмічують космічний простір.

Список використаних джерел

1. Михаил Филиппов. Исаак Ньютон. Его жизнь и научная деятельность. — Litres, 2017. — 157 с.
2. Документація Semi-Automatic Classification Plugin [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://semiautomaticclassificationmanual-uk-ua.readthedocs.io/uk_UA/latest/index.html.

3. Näin sateenkaari muodostuu [Електронний ресурс]. — 2010. — Режим доступу до ресурсу: <https://tieku.fi/fysiikka/fysiikan-ilmiot/nain-sateenkaari-muodostuu>.
4. Новгородова Г. Про світло. Основи ДЗЗ [Електронний ресурс]/ Г. Новгородова//50north. — 2015. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.50northspatial.org/ua/concerning-the-light/>.
5. Scattering of Light [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/%28Gh%29/guides/mtr/opt/mch/sct.rxml>.
6. Как животные видят мир [Електронний ресурс]. — 2017. — Режим доступу до ресурсу: www.youtube.com/watch?v=X7paKogNfEc.
7. Craig P. Burrows Photography [Електронний ресурс]. — 2017. — Режим доступу до ресурсу: www.cpburrows.com/.
8. Кохан С. С., Востоков А. Б. Дистанційне зондування Землі : теоретичні основи : підруч. — К. : Вища школа, 2009. — С. 16.
9. Схема получения и обработки данных ДЗЗ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/b822b11f-492c-4270-b01e-377de68b3f1d/files/9.htm>.
10. Класифікація способів отримання зображень [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://helpiks.org/6-22680.html>.
11. Дрони і супутники: моніторинг стану посівів впродовж сезону [Електронний ресурс]. — 2017. — Режим доступу до ресурсу: <https://smartfarming.ua/ua-blog/monitoring-sostoyaniya-posevov-v-techenie-sezona>.
12. Мир глазами птицы. Лучшие фотографии с дронов [Електронний ресурс]. — 2015. — Режим доступу до ресурсу: <https://korrespondent.net/lifestyle/travel/3591066-myr-hlazamy-ptytsy-luchshye-fotografyy-s-dronov#14>.
13. Вчені розповіли, скільки тонн космічного сміття на орбіті Землі [Електронний ресурс] — 2018. — Режим доступу до ресурсу: <http://uagolos.com/vcheni-rozpovili-skilki-tonn-kosmichnogo-smittia-na-orbiti-zemli/>.
14. Стартап Earth-i показав майбутнє супутникового спостереження [Електронний ресурс] — 2018. — Режим доступу до ресурсу: <https://tehnot.com/ua/startap-earth-i-pokazal-budushhee-sputnikovogo-nablyudeniya/>.
15. Аерокосмічні методи [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://ecology.udau.edu.ua/assets/files/024.pdf>.
16. Вовчик Е. Б. Що таке ШСЗ і як їх спостерігають [Електронний ресурс] / Е. Б. Вовчик. — 2015. — Режим доступу до ресурсу: <http://astro.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/04/vstup-do-praktyky.pdf>.

17. Перший штучний супутник Землі [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: www.jnsm.com.ua/h/1004M/.

18. Observe the Moon [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://moon.nasa.gov/observe-the-moon/annual-event/overview/>.

19. Lagoon Nebula (Visible-light View) [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://hubblesite.org/image/4150/gallery>.

20. For Educators [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem_on_station/index.html.

21. Earth Satellite 2016 [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://svs.gsfc.nasa.gov/hyperwall/index/download/a010000/a011600/a011616/EarthSat_HD_2016.jpg.

22. Landsat [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Landsat>.

23. Landsat Then and Now [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/>.

24. Bauman P.R. Remote Sensing History. Part II. GEO/SAT2. New York State University. Department of Geography. Oneonte. — New York, 13820. — 2009.

25. A Blackwater River Meets the Sea [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://landsat.visibleearth.nasa.gov/view.php?id=144147>.

26. Landsat 9 Is Coming [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/nasa-usgs-begin-work-on-landsat-9-to-continue-land-imaging-legacy/>.

27. Sentinel family [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/04/Sentinel_family.

28. Copernicus [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4.

29. Tokyo Bay, Japan [Електронний ресурс]. — 2014. — Режим доступу до ресурсу: www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/11/Tokyo_Bay_Japan.

30. South Sudan [Електронний ресурс]. — 2018. — Режим доступу до ресурсу: www.esa.int/spaceinimages/Images/2018/10/South_Sudan.

31. Focus on Copernicus applications [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Focus_on_Copernicus_applications.

32. Assessing the Accuracy of Automatically Extracted Shorelines on Microtidal Beaches from Landsat 7, Landsat 8 and Sentinel-2

Imagery [Електронний ресурс] / [J. Pardo-Pascual, E. Sánchez-García, J. Almonacid-Caballer та ін.] // Remote Sensing. — 2018. — Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/323346267_Assessing_the_Accuracy_of_Automatically_Extracted_Shorelines_on_Microtidal_Beaches_from_Landsat_7_Landsat_8_and_Sentinel-2_Imagery.

33. Терра (спутник) [Електронний ресурс] // Матеріал из Википедии — свободной энциклопедии. — Режим доступу до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Терра_\(спутник\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Терра_(спутник)).

34. Радіаційний баланс [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Радіаційний_баланс.

35. Terra Spacecraft [Електронний ресурс] // NASA — Режим доступу до ресурсу: https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/spacecraft/index.html.

36. Тепловий баланс Землі [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/Тепловий_баланс_Землі.

37. Аерокосмічні дослідження геологічного середовища: наук.-метод. посіб. / А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько та ін. — К. : Мінприроди України, Держгеолслужба, 2010. — С. 30–31.

38. Terra Image Gallery [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/images/index.html.

39. Надир [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/Надир>.

40. Спутники Rapideye [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.rapideye-satellite.ru/satellites.html>.

41. RapidEye Earth Observation Constellation [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/r/rapideye>.

42. RapidEye Satellite Images [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.satimagingcorp.com/gallery/rapideye/>.

43. Planet Labs створюють сканер для усієї планети [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.50northspatial.org/ua/planet-labs/>.

44. Planet monitoring Daily cadence, global coverage [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.planet.com/products/monitoring/>.

45. Космический мусор может сделать космос недоступным для человека : инфографика [Электронный ресурс] — 2014. — Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/post/230199/>.
46. Grush L. Satellite uses giant net to practice capturing space junk [Электронный ресурс] / Loren Grush. — 2018. — Режим доступа до ресурсу: www.theverge.com/2018/9/19/17878218/space-junk-remove-debris-net-harpoon-collision.
47. SpaceX will launch CRS-14 today with RemoveDEBRIS to clear space junk [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://google.gl/wv8Ru9>.
48. Jones B. Vision Of The Future [Электронный ресурс] / Brad Jones // Futurism. — 2018. — Режим доступа до ресурсу: <https://futurism.com/elon-musk-lidar-tech-autonomous-vehicles/>.

An aerial photograph of a savanna landscape. In the upper left, a small herd of antelope, possibly reedbuck, is grazing in tall, dry grass. The center of the image is dominated by a large, dense, green bush. The lower half of the image shows more antelope grazing in the tall grass. The overall scene is bathed in warm, golden light, suggesting late afternoon or early morning.

Розділ 3

ОСНОВИ ДЕШИФРУВАННЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ЗНІМКІВ

Розділ 3.

ОСНОВИ ДЕШИФРУВАННЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ЗНІМКІВ

3.1. Суть та ознаки дешифрування

Дешифрування матеріалів дистанційного зондування Землі — це процес, за допомогою якого розкривається зміст знімків. Таким чином, під **дешифруванням** розуміють процес виявлення, розпізнавання та інтерпретації різної інформації за зображенням земної поверхні. При цьому спочатку виявляють, потім розпізнають географічні об'єкти, визначають їх якісні та кількісні характеристики та відображають результати їх вивчення на знімку чи карті умовними знаками. Результати дешифрування залежать від оптичних і геометричних властивостей знімків, методів, які застосували, та рівня знань та досвіду користувача, який виконує дешифрування знімків [1].

При дешифруванні знімків аналізують фотографічні образи об'єкта, що мають низку **розпізнавальних (дешифрувальних) ознак**, тобто характерних особливостей, за якими об'єкти відрізняються один від одного. Ці ознаки можуть бути прямими або непрямыми (опосередкованими).

Прямі дешифрувальні ознаки — це властивості самих об'єктів і їх зображень, які дозволяють безпосередньо визначити особливості і характеристики об'єктів земної поверхні. До таких ознак належать:

- *Розмір* — одна з основних прямих ознак, що дозволяє за довжиною, шириною і висотою виділити об'єкт з ряду однорідних і співставити з розміром інших об'єктів. Він залежить від масштабу знімка.

- *Форма* — характеризується загальним окресленням об'єкта на знімку. Виділяють геометричну, лінійну, компактну і об'ємну форми об'єктів. Антропогенні об'єкти (споруди) найчастіше мають прямолінійну форму, і за цією ознакою легко відрізнити, наприклад, поле з сільськогосподарськими культурами від луків з трав'яною рослинністю. Поле буде мати прямокутну форму, а луки здебільшого знаходяться у балках чи вздовж русла річки та мають складну форму.
- *Тон* — ознака, яка дозволяє виділення зображеного об'єкта на загальному фоні знімка, ця ознака найбільш важлива для чорно-білих знімків. Вона мінлива та непостійна, оскільки зображення одного й того ж об'єкта може мати різний тон залежно від освітлення, виду аерознімка, пори року, погодних умов тощо.
- *Колір* — важлива дешифрувальна ознака для кольорових і спектрозональних аерознімків. Зображення об'єктів у кольорі дає ширші можливості для дешифрування, аніж чорно-біле зображення. Так, на кольорових знімках літнього періоду можна розпізнати набагато більше елементів місцевості та їх деталей, ніж взимку, оскільки влітку місцевість має більшу кольорову гаму.
- *Тіні* — відіграють важливу роль при розпізнаванні об'ємних об'єктів малого розміру і контрасту (хмарочоси, крони дерев, фабричні труби та ін.). Вони можуть бути власними, тобто на самому об'єкті (співпадати з ним за контуром), або падаючі, тобто тіні, що відкидаються об'єктами на інші об'єкти або на земну поверхню. На космічних знімках тіні відображаються слабо, чітко видно тільки тіні від хмар і предметів, що особливо виділяються над поверхнею. Деякі об'єкти, наприклад опори ліній електропередачі та зв'язку, антенні щогли, ракети на стартових позиціях, спостережні вишки та дротяні загорожі, найчастіше розпізнаються тільки за тінню.

Багато об'єктів місцевості безпосередньо не відображаються на знімках, або різні об'єкти можуть мати однакові прямі ознаки дешифрування і тому не можуть бути віддешифровані безпосередньо.

У таких випадках використовуються непрямі ознаки дешифрування [1].

Непрямі ознаки дешифрування ґрунтуються на різних взаємозалежностях між об'єктами і елементами земної поверхні. Часто непрямі ознаки вказують на наявність окремих властивостей об'єктів, які були не отримані при зйомці з огляду на географічні, фотографічні та геометричні особливості. Непрямі ознаки, які допомагають встановити природні закономірності і взаємозв'язки, називають непрямыми ландшафтними. Другу групу непрямих ознак складають непрямі соціально-географічні ознаки, які ґрунтуються на зв'язку антропогенних і природних явищ і об'єктів. Так, наприклад, за рисунком степової дороги можна зробити висновки про ґрунти місцевості: на вологих ділянках дорога сильно розмита, має багато об'їздів; на піщаному ґрунті — межі дороги розмиті; на глинистому ґрунті контури дороги різко виражені, ніби врізані [1].

Приклади дешифрування окремих елементів

При розпізнаванні місцевості на космічному зображенні найчастіше роблять дешифрування населених пунктів, шляхів сполучення, водних об'єктів, рельєфу земної поверхні, рослинності.

Населені пункти чітко виділяються серед інших елементів місцевості за структурою фотозображення, наявністю великої кількості геометрично правильних фігур. За щільністю забудови та розміром впізнають тип населеного пункту (місто, селище міського типу, сільський населений пункт), характер планування (правильний, неправильний, компактний та ін.). Міста мають компактну забудову, правильне планування, багатоповерхові будинки, промислові підприємства, до них підходять капітальні автомобільні шляхи (рис. 3.1). Сільські населені пункти часто розташовують поблизу річок, струмків, балок. Для них характерна наявність житлових, господарських будівель, присадибних ділянок з садами та городами. Вони, як правило, оточені сільськогосподарськими угіддями [1].



Рис. 3.1. Приклад дешифрування забудови
(1 — багатоповерхова міська забудова;
2 — одно-двоповерхова приміська забудова;
3 — гаражі, промзони; 4 — незабудовані луки)

Транспортна мережа виділяється за формою та місцем розташування, а також за світлим тоном їх фотозображення. Для залізниць характерна прямолінійність, плавні закруглені переходи від одного відрізка до іншого, снігозахисні посадки біля доріг, наявність насипів та виїмок, станцій і роз'їздів. Автомобільні шляхи на знімках зображуються світлими лініями різної товщини та різної звивистості в залежності від їх типу. Автошляхи з покриттям виділяються прямолінійністю, плавними заокругленими поворотами, наявністю насипів та виїмок, лісосмуг, мостів. Ґрунтові польові дороги відображаються світлими, помірно звивистими лініями з наявними об'їздами [1].

Для природних об'єктів характерні неправильна конфігурація, багатоманітність форм та кольорів, значний діапазон розмірів.

Елементи рельєфу земної поверхні найбільш чітко виявляються при стереоскопічному розгляданні аерофотознімків. При цьому дешифрувальними ознаками є об'ємна форма, планова конфігурація, тінь, структура фотозображення, а також склад рослинного покриву. За аерофотознімками можна оконтурити форми та елементи мезорельєфу — тераси та пойми річок, балки, яри, лощини, котловини, схили, обриви та інше.

Водні поверхні у ближньому та середньому інфрачервоних діапазонах інтенсивно поглинають енергію, завдяки чому знижується їхня відбивна спроможність і вони виглядають на космічних знімках як темні фрагменти та добре розрізняються при дешифруванні. Напрямок течії річки визначається за формою островів, напрямом до гирла та іншими ознаками [1].

Болотні ділянки відображаються на знімках загальним сірим тоном, який сильно змінюється відповідно до наявності трав'яної, мохової чи іншої рослинності та ступеня вологості болота. Мохові (верхові болота) мають неправильні контури з розпливчастими контурами. Низинні (трав'яні) болота розташовані частіше всього уздовж річок з низькими берегами та в знижених місцях серед лісу. Через сильне зволоження вони мають темно-сірий тон зображення.

Рослинний покрив дешифрують за тоном і структурою фотозображення, формою падаючих тіней, а також характером просторового розміщення рослинності і зв'язком з рельєфом та гідрографічною мережею. Лісові насадження впізнають за структурою і тоном зображення, приуроченості їх до визначеного місця. Ліс на знімках має відносно темний тон та зернисту структуру зображення, яка залежить від форми, розміру та яскравості крон дерев, складу лісових порід. Породовий склад лісу можна визначити за різними спектральними відтінками листяної поверхні. Іноді склад насаджень можна виявити завдяки падаючим тіням на узліссях, якщо довжина тіні рівна чи більше висоти дерев. Округла крона берези, дуба, осики, сосни відрізняється від конусоподібної крони ялини. Культурні насадження дерев та чагарників характеризуються на знімках регулярною структурою та приуроченістю до населених пунктів (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Приклад дешифрування рослинності
(1 — ліс; 2 — рідколісся та чагарники;
3 — луки; 4 — заболочені ділянки)

Трав'яні та чагарникові угруповання на супутникових зображеннях виглядають безструктурними ділянками із сірою тональністю. Однак у ряді випадків на великомасштабних знімках можна розпізнати деякі трав'яні екосистеми тундри, боліт. Луки приурочені головним чином до долин річок та струмків, галявин у лісі. Сухі луки відрізняються одноманітним рівним світло-сірим тоном. Вологі луки, які знаходяться у знижених місцях, мають темний тон і іноді характерні витягнуті контури. Лучна рослинність у лісах часто приурочена до балок та лощин, і тому форма таких лучних ділянок має характерну конфігурацію.

Зображення рілля та інших сільськогосподарських земель має різко виражений геометричний вид контурів, різнотонність та часто специфічний смугасто-лінійний рисунок, який відображає наслідки обробки ґрунтів чи посадки рослин [1].

Послідовність процедури дешифрування (обробки) космічних знімків:

1. Визначення інформативних спектральних каналів супутникових знімків.
2. Корекція зображення (спектральна, геометрична, радіометрична).
3. Маскування хмар і втрачених даних на знімках у визначених каналах, атмосферна корекція.
4. Визначення локальних спектральних особливостей поверхні, візуальне дешифрування.
5. Напіваавтоматичне чи автоматичне дешифрування.
6. Уточнення результатів дешифрування з урахуванням локальних особливостей, а також застосування комплексних правил дешифрування.
7. Оцінка точності дешифрування.
8. Отримання результатів дослідження.

Зазначені вище етапи обробки даних ДЗЗ можуть бути розділені на дві основні групи:

- *попередня обробка космічних знімків* — це комплекс операцій зі знімками, спрямований на усунення різних спотворень зображення. Спотворення можуть бути обумовлені: недосконалістю реєструючої апаратури; впливом атмосфери; перешкодами, пов'язаними з передачею зображень по каналах зв'язку; геометричними спотвореннями, пов'язаними з методом космічної зйомки; умовами освітлення підстильної поверхні; процесами фотохімічної обробки та аналого-цифрового перетворення зображень (при роботі з матеріалами фотографічної зйомки) та іншими факторами. Попередня обробка даних ДЗЗ включає в себе геометричну, радіометричну, атмосферну корекцію зображення, географічну прив'язку знімка [1];
- *тематична обробка космічних знімків* — це розпізнавання об'єктів і явищ на космічних знімках на основі дешифрувальних ознак.

3.2. Попередня обробка космічних знімків

Характеризуючи першу групу методів обробки знімків, можна відзначити, що вони є переважно проблемно орієнтованими. Так, метод покращення, що є корисним для одного знімка, не обов'язково виявиться ефективним для іншого [2]. Таким чином, загального підходу до поліпшення зображення не існує. Підбір методів залежить в першу чергу від характеру даних, мети обробки, знання представленої на зображенні території та підготовленості (попереднього досвіду в проведенні робіт з поліпшення зображень). Проте в основі процесу покращення матеріалів ДЗЗ можна виокремити три основних напрямки корекції зображень, що включають геометричні, радіометричні та яскравісні перетворення (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Схема методів попередньої обробки космічних зображень

Геометричне корегування — це усунення на зображенні геометричних викривлень (орторектифікація) і геоприв'язку. Цей вид корекції на першому етапі може виконуватись автоматично за інформацією про параметри орбіти супутника. Більш точне трансформування й прив'язка знімка до певної координатної системи зазвичай виконується з використанням інтерактивно заданих опорних точок. У процесі трансформування відбувається перерахування значень пікселів на нову сітку растра, при цьому форми об'єктів на зображенні в більшій або меншій мірі змінюються, а рамка знімка зі звичайної прямокутної перетворюється в паралелепіпед або в більш складну фігуру з криволінійними межами.

При геометричній корекції фотографічних зображень високої розрізненості усуваються перекручення, які виникають за рахунок рельєфу місцевості [3].

Радіометричне корегування або калібрування знімків — це калібрування значень вихідного сигналу знімального приладу і їх переведення в абсолютні значення альbedo і радіаційної температури. Знімки, що первісно отримуються із супутників, записані у вигляді так званих «сирих значень» яскравості DN (Digital Number). Дані в такому форматі не можна адекватно порівняти з даними інших зйомок.

Задача радіометричного калібрування полягає у приведенні цих значень у фізичні одиниці. Калібрування здійснюється з використанням даних телеметрії, що надходять з супутника разом із зображенням, і калібрувальних коефіцієнтів, які розраховуються для кожного знімального приладу за результатами наземних і льотних випробувань. Калібрування полягає в перетворенні безрозмірних даних, що отримуються з датчиків окремих спектральних зон, в істинні нормалізовані значення відбитої або випромінюваної енергії [3].

Фільтрація — це перетворення, яке дозволяє підсилити відтворення тих або інших об'єктів, зменшити небажане вуалювання, усунути інші випадкові перешкоди (шум).

Один з найпростіших способів фільтрації — перетворення в ковзному вікні. При такому перетворенні перераховуються значення яскравості всіх пікселів зображення. Перерахунок здійснюється для кожного пікселя так: коли даний піксель стає центральним у вікні, що «рухається» по знімку, йому дається нове значення, яке є функцією від значень пікселів, що його оточують [3].

3.3. Тематична обробка супутникових знімків

Друга група методів обробки матеріалів ДЗЗ об'єднує процедури отримання інформації з оброблених матеріалів. Цей процес здійснюється шляхом логічних і арифметичних операцій, класифікацій та інших методичних прийомів, у тому числі візуального дешифрування зображення.

До основних методів тематичної обробки належать:

- комбінування каналів;
- індексні зображення;
- аналіз головних компонент;
- метод спектрального поділу;
- класифікації.

Метод комбінування каналів супутникових знімків полягає у визначенні спектральних діапазонів, важливих для відображення тих чи інших об'єктів та синтезу відповідних спектральних каналів супутникових знімків у кольорове зображення. Так, синтез каналів видимої частини спектра формує зображення, близьке до звичайної фотографії або того, що можна побачити людським оком. Об'єкти дешифрування будуть мати звичний та зрозумілий колір і, відповідно, вигляд, що може суттєво полегшити процес ідентифікації об'єктів на знімках. Така комбінація каналів називається *природні кольори*. Однак значна частина інформації буде залишатися прихованою за такої комбінації каналів, тому для виявлення таких об'єктів чи їх властивостей варто використовувати комбінацію каналів із застосуванням ближніх, середніх чи дальніх інфрачервоних діапазонів. Як правило, ці канали поєднують з одним чи декількома каналами видимого діапазону. У результаті формується *псевдокольоровий знімок*. Наприклад, здорова рослинність, у якій інтенсивно протікає процес фотосинтезу, має високе значення відбиття у зеленому спектральному діапазоні, на відміну від пригніченої чи хворої рослинності, що має мінімальні значення відбиття у зеленій та інфрачервоній частині спектра. Тому для того, щоб розрізнити здорову та хвору рослинність, варто використати комбінацію каналів — середній інфрачервоний, ближній інфрачервоний і зелений спектральні діапазони.

Метод створення індексних зображень — один із найпростіших та найпоширеніших методів дешифрування супутникових знімків, що також базується на спектральних особливостях об'єктів дослідження та фактично є математичною операцією з кількома спектральними каналами. Однак, на відміну від методу

комбінування каналів, у результаті формується індексне зображення, піксель якого може набувати значення у певному визначеному діапазоні значень. Це дозволяє порівнювати між собою отримані у результаті індексні зображення на різні території чи зроблені у різні часові періоди. Одним з найпоширеніших індексів є *нормалізований вегетаційний індекс NDVI*, а також *нормалізований водний індекс NDWI*. Приклади застосування цих індексів розглядаються у розділах 4.1 та 4.2.

При застосуванні **методу візуального дешифрування** передбачається, що дешифрування виконує експерт, добре обізнаний з особливостями території і властивостями об'єктів, відображених на знімку. Цей метод є трудомістким і досить витратним за часом, тому актуальним є використання способів автоматичного дешифрування (автоматичної класифікації).

Детальніше зупинимось на **класифікації** — як способі дешифрування космічних знімків, тобто розпізнання та виокремлення на космічних знімках будь-яких об'єктів [3]. Класифікація належить до автоматизованих способів дешифрування. У разі їх застосування користувачу не потрібно вручну обводити межі об'єктів, за нього це робить комп'ютерна програма.

Автоматичною класифікацією називають процес розбиття пікселів неперервного растрового зображення на категорії на основі їх спектральних значень, в результаті чого кожному пікселю присвоюється нове значення. За ступенем участі користувача в процесі автоматизованого дешифрування алгоритми класифікації поділяють на дві групи: класифікація без навчання (автономна класифікація, некерована класифікація, кластеризація) та класифікація з навчанням (керована класифікація) [3] (рис. 3.4).

Якщо перед початком класифікації невідомо, скільки та які об'єкти є на знімку, застосовують *класифікацію без навчання* (некеровану класифікацію). Цей процес означає автоматичний розподіл пікселів зображення на підставі аналізу статистичного розподілу їх яскравості. Недоліком цієї класифікації є те, що потрібно виконувати дешифрування отриманих класів, щоб визначити, яким об'єктам

зображення вони відповідають. Некеровану класифікацію часто використовують як попередній етап класифікації з навчанням.

Найбільш поширеними методами класифікації без навчання є такі:

1. ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) — ітераційна методика аналізу даних, що самоорганізується, яка заснована на кластерному аналізі. Основний параметр, що задається перед проведенням обчислень, — кількість кластерів, які необхідно отримати.

2. К-середніх відрізняється від методу ISODATA тим, що потребує початкового задання певної кількості середніх значень для формування вихідних класів, отже, цей метод використовують, коли об'єкти на знімку добре розрізняються [3].

Класифікацію з навчанням (керовану класифікацію) застосовують, коли наперед відома кількість класів об'єктів та їх типологічні особливості. У процесі цієї класифікації розподіл пікселів на класи здійснюють на основі порівняння значень характеристик кожного пікселя з еталонами (навчальними вибірками), які формують для кожного класу шляхом відбору пікселів з певним діапазоном характеристик відповідно до реальних об'єктів місцевості на знімку.



Рис. 3.4. Основні методи автоматичної класифікації

Класифікація з навчанням виконується в декілька етапів:

- визначення кількості класів та їхнього змісту;
- створення навчальних вибірок (користувацьких еталонів);
- перевірка якості навчальних вибірок;
- вибір алгоритму (способу) класифікації з навчанням;
- виконання класифікації;
- післякласифікаційна обробка карти класифікації;
- оцінка точності результатів класифікації.

Метод максимальної правдоподібності — розраховує ймовірність, з якою даний піксель належить до якогось класу. Кількість і параметри класів задаються користувачем шляхом указівки навчальних вибірок. Кожен піксель відноситься до того класу, до якого він може належати з найбільшою ймовірністю. При розрахунку ймовірності враховується яскравість пікселя і яскравості пікселів, що його оточують [3].

Метод мінімальної відстані — використовують, коли спектральні ознаки різних класів схожі і діапазони значень їх яскравості перекриваються.

Метод дистанції Махаланобіса — цей спосіб класифікації схожий на спосіб мінімальної відстані, але відрізняється тим, що в процесі класифікації вимірюється не евклідова (як у способі мінімальної відстані), а відстань Махаланобіса. Це означає, що цей спосіб ураховує розподіл (дисперсію) значень яскравості пікселів в еталонних ділянках. Тому якщо евклідова відстань від вектора яскравості даного пікселя до двох еталонних векторів однакова, то цей піксель буде віднесений до того класу, дисперсія еталонної вибірки якого більше.

Метод спектрального кута — дає гарні результати, коли потрібно провести класифікацію для об'єктів, які мають схожі значення яскравості у всіх спектральних діапазонах. Крім того, оскільки цей спосіб не враховує значення яскравості пікселів, то на результати не впливають і ефекти засвічування знімків.

Метод паралелепіпедів застосовують, коли області значення яскравості об'єктів не перетинаються.

Бінарне кодування — використовують, якщо на знімку всі пікселі потрібно розділити на два класи, наприклад «вода — суша». При бінарному кодуванні всім пікселям привласнюється одне з двох значень на основі порівняння зі значеннями еталонних вибірок. Під час класифікації значення кожного пікселя порівнюється із середнім еталонної вибірки. В результаті утворюється бінарне зображення [3].

В основі всіх методів дешифрування знімків лежать наступні принципи:

- 1) аналіз розподілу сигналу в межах визначених спектральних каналів;
- 2) правило віднесення ділянки зображення або пікселя до відповідного класу;
- 3) статистичний аналіз розподілу спектральних характеристик окремих ділянок зображення або пікселів;
- 4) аналіз достовірності віднесення зареєстрованого сигналу до відповідного класу.

3.4. Програмне забезпечення для роботи з супутниковими знімками

Геоінформаційна система (ГІС, англ. GIS) — це сукупність електронних карт з умовними позначеннями об'єктів на них, баз даних з інформацією про ці об'єкти та програмного забезпечення для зручної роботи з картами і базами як з єдиним цілим. За допомогою ГІС існує можливість інтегрувати всі дані, а потім візуалізувати їх та проаналізувати взаємозв'язки між ними, розробити моделі, прогнозу аналітику та планування, ґрунтуючись на цьому масиві даних. Але найважливішим є можливість приймати рішення на основі даних, що робить більш імовірним прийняття правильного рішення з урахуванням різних варіантів розвитку подій (рис. 3.5).

Геоінформаційні технології (ГІС-технології) — технологічна основа створення географічних інформаційних систем, які дозволяють реалізувати функціональні можливості ГІС. ГІС-технологія — це технологія, яка може застосовуватись за наявності чотирьох складових: люди, картографічне забезпечення, інформаційне забезпечення (дані, супутникові знімки) та програмне забезпечення (ГІС-пакети) [4].

включаючи польову зйомку і роботу в комп'ютерних мережах, у тому числі і в Інтернет. Слід зазначити, що останніми роками в компанії ESRI робиться акцент саме на розробці мережного програмного ГІС-забезпечення, а також на відповідному розширенні функціональних можливостей традиційних ГІС-пакетів, яке дозволяє їм працювати в комп'ютерних мережах [5].

Основними компонентами ArcGIS є:

- *настільні інструментальні ГІС (ArcGIS Desktop)*, у тому числі ГІС-пакети ArcInfo, ArcEditor і Arc View з набором додаткових модулів;
- *серверне програмне ГІС-забезпечення (Server GIS)*, до складу якого входять пакети ArcIMS, ArcSDE і ArcGIS Server;
- *мобільні інструментальні ГІС (Mobile GIS)*, представлені пакетом ArcPad;
- *програми-в'юери (viewers, Web-viewers)*, такі, як ArcReader і ArcExplorer (рис. 3.7).

Серверне програмне ГІС-забезпечення (**Server GIS**) використовується для створення і управління серверними ГІС-додатками, які поширюють функції ГІС і просторово-розподілену інформацію всередині і між організаціями по комп'ютерних мережах, у тому числі і глобальній мережі Інтернет.

Настільні інструментальні ГІС-сімейства ArcGIS (**ArcGIS Desktop**) мають широкий набір інструментів для картографування, геостатистики та просторового моделювання, сформованих у вигляді окремих модулів, таких як Spatial Analyst (для просторового моделювання, зокрема інтерполяції), 3d Analyst (для роботи з рельєфом), Geostatistical Analyst (для просторової статистики), Network Analyst (для роботи з дорожньою мережею). Модулі продаються додатково, і користувач має можливість придбати окремі потрібні для нього модулі.

Для роботи з даними ДЗЗ застосовуються інструменти, створені для роботи з растровими даними. Ці інструменти знаходяться у меню ArcToolbox — вкладка Data Management Tools/Raster (рис. 3.8).

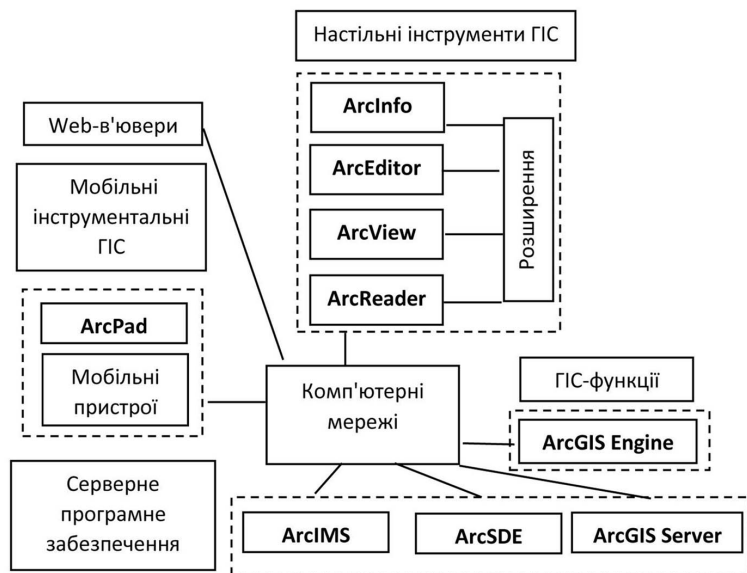


Рис. 3.7. Сімейство програмних ГІС-пакетів ArcGIS [5]

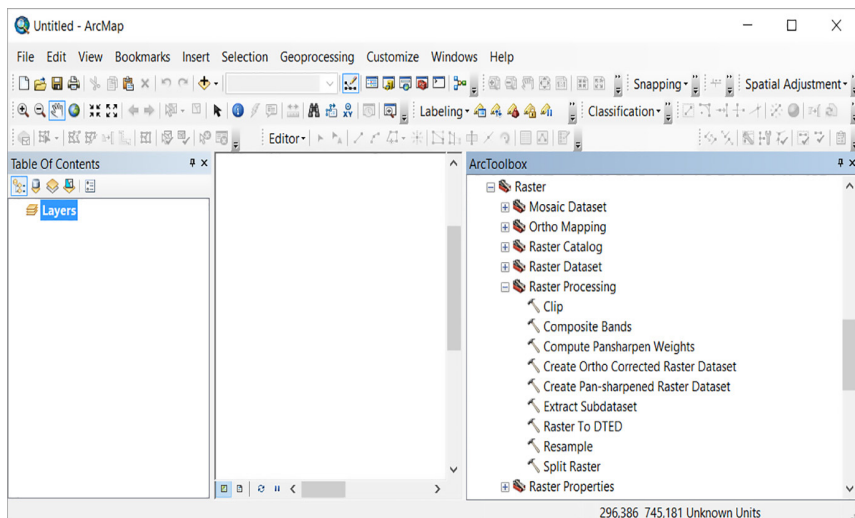


Рис. 3.8. Інтерфейс вибору інструментів ArcToolbox
для роботи з растровими даними

Найпоширеніші інструменти для обробки супутникових знімків — це Clip (обрізка), Composite Bands (комбінування каналів), Mosaic (створення мозаїки зображення з різних знімків). Ці інструменти належать до базового набору інструментів ArcGIS desktop, однак ряд інструментів, зокрема призначених для обробки знімків, входять до модуля Spatial Analyst; таким чином, для ефективної роботи з супутниковими даними в ArcGIS необхідно додатково до базової версії ArcGIS придбати модуль Spatial Analyst. Знаходяться інструменти також у меню ArcGIS toolbox/Spatial Analyst Tools. Найбільш корисними серед них є набір інструментів для автоматизованої класифікації (вкладка Segmentation and Classification), а також растровий калькулятор (вкладка Map Algebra), що дозволяє застосовувати математичні операції з накладанням різних шарів супутникових знімків (рис. 3.9).

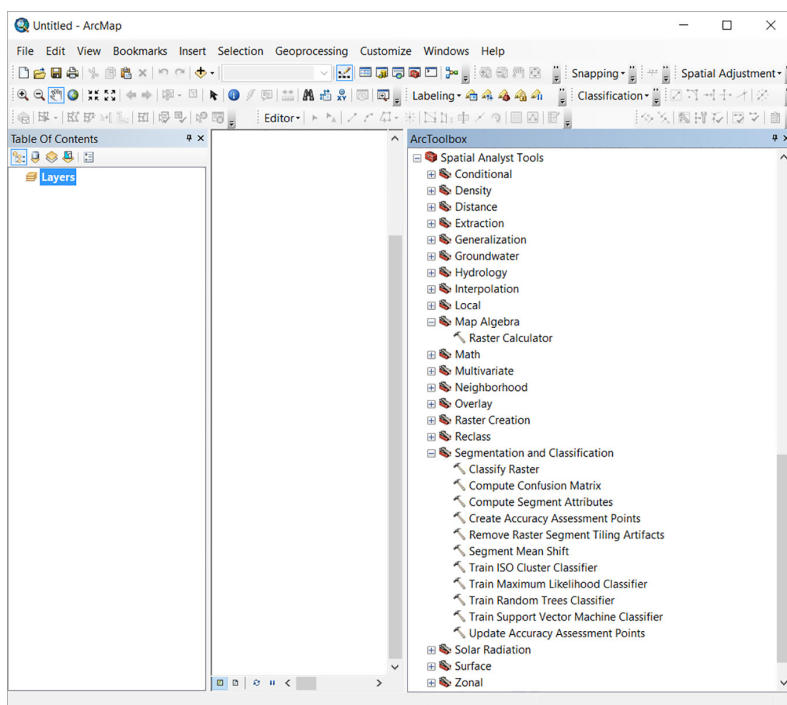


Рис. 3.9. Вибір інструментів
для автоматизованої класифікації зображень

Ще один корисний набір інструментів для швидкої обробки і корекції супутникових знімків знаходиться у меню Windows/Image Analyst. Ці інструменти відкриваються в окремому вікні (рис. 3.10) та містять інструменти для фільтрації зображення, налаштування яскравості, контрастності, покращення різкості, обрізки у межах картографічного вікна, а також розрахунку індексу вегетації NDVI чи інших математичних операцій зі знімками.

Окрім комерційних програмних продуктів останніми роками надзвичайно інтенсивно розвивається галузь розробки безкоштовних та відкритих програмних продуктів для обробки й аналізу просторових даних, зокрема QGIS, GRASS GIS, R та ін.

QGIS (Quantum GIS) — вільне крос-платформове геоінформаційне програмне забезпечення з відкритим кодом. Серед вільних програмних продуктів ГІС є найбільш функціональним та зручним, що також підтримує інтеграцію з іншими вільними програмними продуктами, такими як PostGIS, GRASS та MapServer, а також величезного набору плагінів, створених користувачами та розробниками для вирішення на програмних мовах C++ або Python.

Для пошуку і вибору інструментів та плагінів в QGIS, зокрема для роботи з растровими даними (найпоширеніший формат супутникових знімків), застосовують меню для встановлення та управління плагінами (меню Plugins\Manage and Install Plugins) (рис. 3.12).

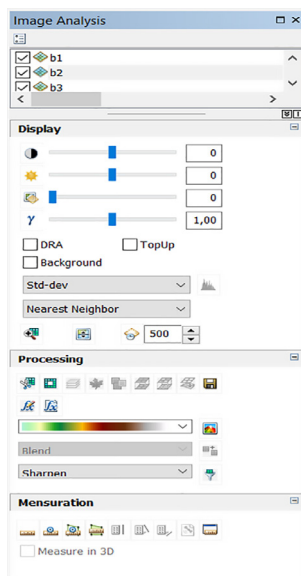


Рис. 3.10. Вікно для обробки растрових даних в ArcGIS



Рис. 3.11. Логотип Quantum GIS (QGIS)

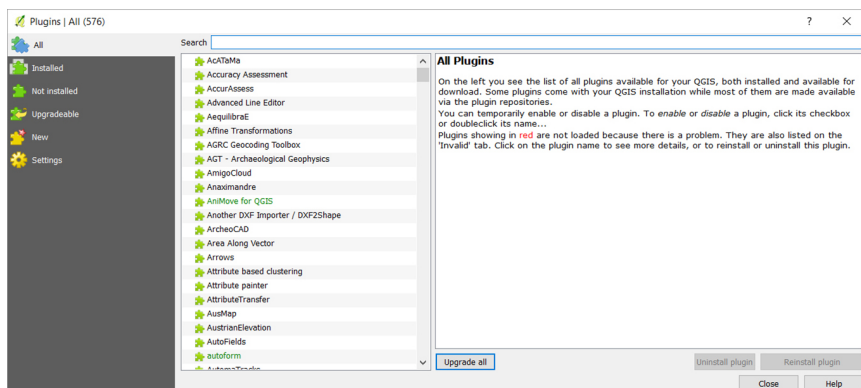


Рис. 3.12. Вікно для пошуку і встановлення плагінів та інструментів для роботи з даними у QGIS

Після підключення через вікно встановлення плагінів вони стають доступними у меню Raster. Також велика кількість інтегрованих інструментів з програмних продуктів SAGA та GRASS GIS доступні через меню Processing\Toolbox. Після вибору цього пункту меню увесь набір доступних інтегрованих інструментів відкриється у вигляді окремої панелі (рис. 3.13). На ній, зокрема, у вкладці GRASS GIS\Imagery розташовані корисні інструменти для попередньої обробки та корекції знімків.

Серед інших корисних функцій для роботи з даними ДЗЗ у QGIS варто окремо відзначити модуль для напівавтоматичної класифікації (рис. 3.14), що дозволяє створювати набір еталонних об'єктів (сигнатур) та застосовувати методи автоматичної класифікації зображення за набором сигнатур для виділення потрібних об'єктів на знімку (детальніше про методи класифікації у підпункті 3.3).

Програма Google Earth

Google Планета Земля (англ. Google Earth) – це безкоштовна програма компанії Google, що відображає віртуальний глобус. В рамках даного проекту в мережу Інтернет було викладено космічні знімки більшої частини Землі. Для деяких регіонів ці знімки

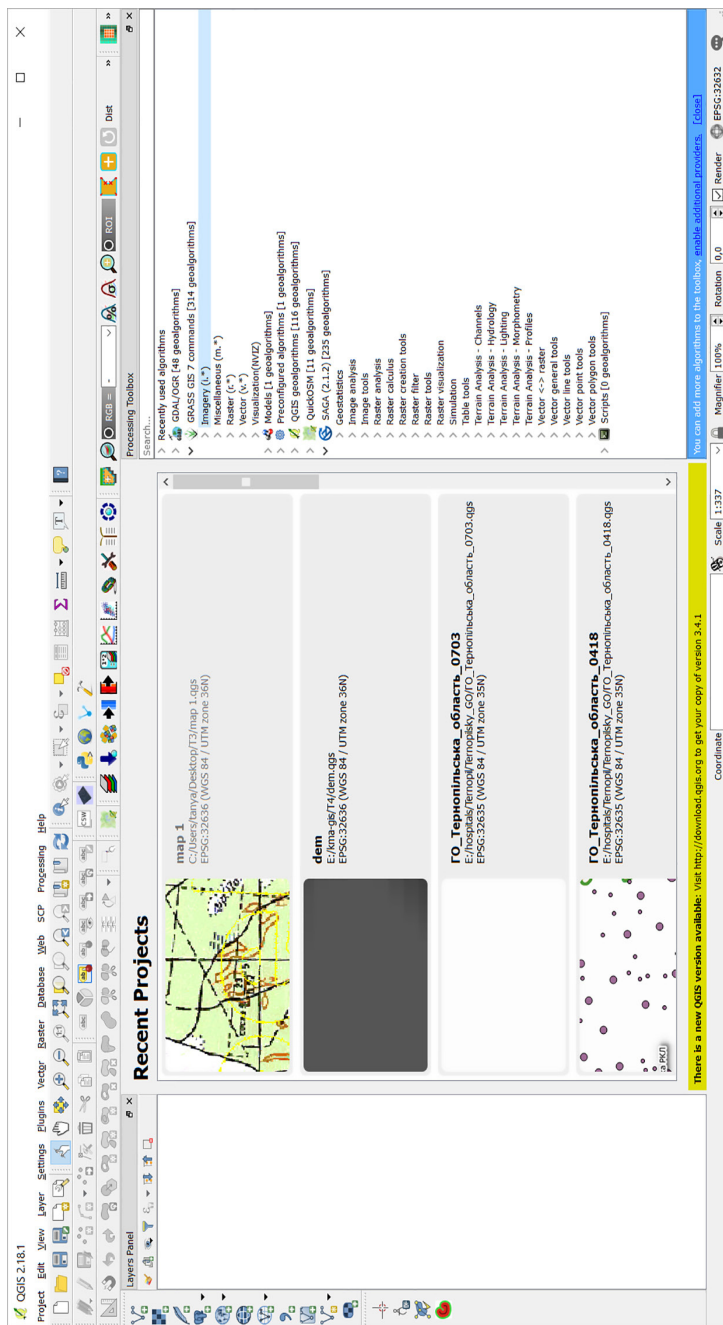


Рис. 3.13. Панель інтегрованих інструментів SAGA та GRASS GIS у QGIS

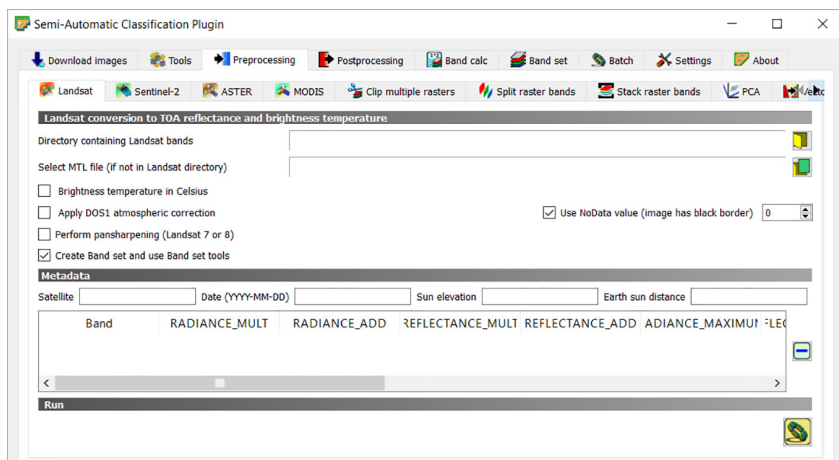


Рис. 3.14. Вікно модуля для напівавтоматичної класифікації супутникових знімків у QGIS.

мають дуже високу якість (до 15 см). Пошук конкретного місця в програмі здійснюється за допомогою вводу географічних координат, або просто через навігацію на карті. Для прикладу наведемо зображення детальної зйомки місцевості з шару «Журнал “National Geographic”» в підрозділі «Політ над Африкою» (рис. 3.15).

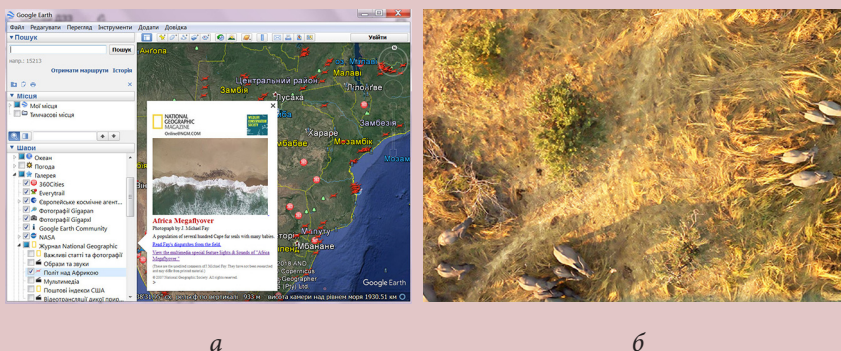


Рис. 3.15. Приклади зображень з тематичного шару «Політ над Африкою» у програмі Google Earth (а – робоче вікно програми Google Earth; б – аерофото групи слонів у Африці)

Крім Землі, також доступні зображення інших небесних тіл, таких як Марс і Місяць. А при виборі варіанту «Небо» користувачі отримують доступ до точних зоряних карт.

Офіційний сайт: www.google.com/intl/uk/earth/index.html

Список використаних джерел

1. Прасул Ю.І., Копанішина К. М. Дистанційне зондування Землі. Робота з аеро- та космознімками (матеріали до модуля 2). — Харків : Форт, 2009. — 51 с.
2. Кочуб Е. В., Топаз А. А. Анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования земли // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. — 2012. — С. 132–140.
3. Первинна обробка (нормалізація) даних ДЗЗ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://helpiks.org/6-84343.html>.
4. Системний аналіз та проектування ГІС. — Електронний навчальний посібник / Є. М. Крижановський, В. Б. Мокін, А. Р. Ящолт, Л. М. Скорина. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 127 с.
5. Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики : навч. посіб. / За заг. ред. О. О. Світличного. — Суми : ВТД «Університетська книга», 2006. — С. 217–219.
6. GIS Implementation [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://gmtgis.com/gmtwp/services/gis-implementation/>.

An aerial photograph of a city, likely Kyiv, showing a wide river (Dnipro) flowing through the center. The city is densely built up with a grid-like street pattern. A road with a white '0' marker is visible on the left side of the river. The image is used as a background for the title page.

Розділ 4

СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ДЗЗ

Розділ 4.

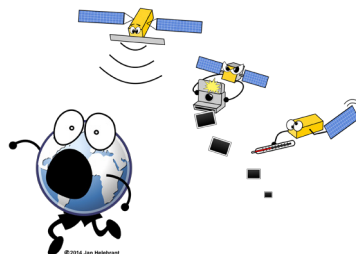
СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ДЗЗ

4.1. Науки про Землю

Термін «науки про Землю» об'єднує усі природничі науки, предметом вивчення яких є планета Земля, зокрема фізичні характеристики нашої планети. Основними сферами досліджень наук про Землю є: літосфера, гідросфера, атмосфера та біосфера.

Як правило, вчені, які досліджують нашу Землю користуються інструментами та методами з географії, історії, фізики, хімії, біології та математики для побудови кількісного розуміння того, як Земля «живе» і розвивається. Науки про Землю вивчають наше повсякденне життя. Наприклад, метеорологи вивчають погоду і спостерігають за небезпечними кліматичними явищами (бурі, торнадо, посухи тощо). Гідрологи вивчають водні об'єкти і попереджають про повені та паводки. Сейсмологи вивчають землетруси і намагаються передбачити їх епіцентри. Геологи вивчають породи і допомагають знаходити корисні копалини.

У цьому розділі «Сфери застосування ДЗЗ» розглянуто такі дисципліни з циклу наук про Землю, як гідрологія, кліматологія та метеорологія, геологія, ландшафтознавство та урбаністика.



4.1.1. Кліматологія та метеорологія

«Глобальне потепління на 1,5 градуси» — така назва спеціального звіту Міжурядової групи експертів з питань змін клімату,

опублікованого 7 жовтня 2018 р. Експерти наголошують, що зростання антропогенних викидів парникових газів вже призвело до потепління на 0,8–1,2 °С. Досягнення мети Паризької угоди про утримання потепління на рівні 1,5 °С ще можливе, але це вимагає значних скорочень викидів і швидких, далекосяжних та безпрецедентних змін у всіх сферах людської діяльності [1].

Дистанційне зондування Землі з космосу у поєднанні з математичним моделюванням має вирішальне значення для розуміння сучасних кліматичних процесів, а також накопичення даних і доказової бази для прогнозування глобальних кліматичних змін у майбутньому та розробки ефективної політики задля безпеки та збалансованого розвитку людства.

Залежно від довжини хвилі та природи електромагнітного випромінювання, яке фіксує сенсор супутникової системи, дистанційне зондування накопичує дані про процеси в атмосфері, в океані, на поверхні землі, а також про гірські породи, ґрунт, рослинність, водні об'єкти, льодовики, сніговий покрив тощо. Інтерпретація даних ДЗЗ у поєднанні з математичними рівняннями, алгоритмами та моделями забезпечує перетворення даних у інформацію, потрібну для прийняття рішень на різних рівнях управління.

Одним із важливих показників в контексті кліматичних досліджень є альbedo – відношення потоку відбитого (розсіяного) поверхнею Землі випромінювання до потоку сонячного випромінювання, що надходить до неї. За певними розрахунками, якби Земля була повністю вкрита льодом, її альbedo становило б близько 0,84, тобто відбивалося б 84% сонячного випромінювання. З іншого боку, якби Земля була повністю вкрита темно-зеленим лісовим покривом, її альbedo було б близьким до 0,14 (велика частина сонячного світла буде поглинатися). На основі супутникових вимірювань, накопичених з кінця 1970-х років, середнє значення альbedo Землі оцінюють як 0,30. Якщо потік сонячної енергії, що надходить до поверхні та відбивається від неї, залишається незмінним, тепловий баланс Землі зберігається у рівновазі, а глобальна температура зберігається відносно стабільною.

Оскільки висхідне випромінювання від поверхні Землі, проходячи через атмосферу, відбивається в усіх напрямках, певна частина випромінювання може повертатися назад до поверхні Землі, тому будь-які зміни енергетичного балансу можуть призводити до збільшення чи зменшення глобальної температури, а також впливати на випаровування, опади, вітри, морські течії, пов'язані з тепловим балансом Землі. Зміни льодового покриву, хмарність, атмосферне забруднення, парникові гази, а також зміни ґрунтово-рослинного покриву (наприклад, вирубки лісів для сільгоспугідь чи забудови) мають вплив на глобальне значення альбедо. Таким чином, для оцінки змін клімату важливою є космічна зйомка як на планетарному рівні для відстеження змін у потоках випромінювання та динаміки глобального альбедо, так і на локальному рівні для моніторингу зміни наземного покриву, стану рослинності і водних об'єктів, збільшення площі територій міст, що також формує свій вплив на кліматичні та енергетичні процеси Землі.

Глобальною програмою спостережень за кліматом (Global Climate Observing System, GCOS) у 2010 році було розроблено п'ятдесят параметрів біосфери Землі, що вважаються важливими для виявлення і кількісного визначення пов'язаних з кліматом змін, відомих як *основні кліматичні показники* (Essential Climate Variables, ECVs) [2]. З них близько половини можуть бути визначені лише за допомогою методів ДЗЗ (табл. 4.1).

Наразі близько тридцяти супутникових систем спостереження за Землею з низьким та середнім просторовим розрізненням (від 30 метрів і більше) працюють у навколоземному просторі, забезпечуючи космічну зйомку у різних спектральних діапазонах для глобальних та регіональних досліджень. Перелік таких систем, назви сенсорів та їхнє основне призначення наведені у Додатку 2. Майже усі ці дані розповсюджуються безкоштовно для наукових досліджень.

Значно менша кількість даних з високим просторовим розрізненням (від 1 до 30 метрів) знаходяться у вільному доступі для наукових досліджень (Додаток 3). Із представленого у Додатку 3

переліку супутникових систем високого просторового розрізнення, дані SPOT поширюються на комерційній основі, а супутникові системи ERS та ENVISAT наразі завершили місію, однак їх дані доступні для ретроспективних досліджень.

Таблиця 4.1. Перелік основних кліматичних показників (ECVs), які визначаються методами дистанційного зондування Землі (за [2])

Сфера моніторингу	Основні кліматичні змінні (ECVs)
Атмосферні процеси	У безпосередній близькості від поверхні: температура повітря, швидкість і напрям вітру, водяна пара, тиск, опади, поверхнєве випромінювання. У верхньому повітряному просторі (до стратопаузи): температура, швидкість і напрям вітру, водяна пара, властивості хмар, радіаційний баланс Землі (включаючи сонячне випромінювання). Загалом: діоксид вуглецю, метан та інші довгоживучі парникові гази, у тому числі N_2O , SF_6 , хлорфторвуглеводні, гідрохлорфторвуглеводні, а також озон і аерозолі, зокрема, NO_2 , SO_2 , CO і формальдегіди
Океанічні процеси	Температура поверхні моря, солоність, рівень моря, лід, поверхнєві течії, колір океану, кисень, парціальний тиск двоокису вуглецю, кислотність, фітопланктон
Наземні процеси	Річковий стік, використання води, підземні води, озера, сніговий покрив, льодовики і крижані шапки, льодові щити, мерзлота, альbedo, рослинний покрив (включаючи тип рослинності), частка поглиненої фотосинтетично активної радіації (FAPAR), індекс площі листової поверхні (LAI), надземна біомаса, ґрунтовий вуглець, пожежі, вологість ґрунту

У листопаді 2014 року Європейська Комісія підписала угоду з Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) про впровадження сервісу з моніторингу кліматичних змін у рамках програми Copernicus. Сервіс базується на даних супутникових спостережень у поєднанні з наземними вимірюваннями, та надає вільний доступ до кліматичних показників та індексів,

таких як ріст температури, ріст рівня води в океані, танення льодовиків, нагрівання води в океані, та ін.

Таким чином, наявна велика кількість даних різних супутникових систем дозволяє отримувати інформацію про біосферні та кліматичні процеси практично безперервно. Така кількість даних з одного боку є перевагою, а з іншого — недоліком, або викликом для достовірної інтерпретації даних дистанційного зондування. Алгоритми обробки даних, особливо нових супутникових систем, потребують удосконалення та перевірки на тестових територіях у різних кліматичних зонах та окремих визначених природних об'єктах з використанням наземних спостережень та високоточних вимірювань у польових умовах. Окрім того, можуть виникати складнощі з одночасним використанням даних, отриманих різними сенсорами, оскільки навіть незначна різниця у спектральному діапазоні, яку фіксує сенсор, може значно впливати на якість сигналу і тому необхідно попередньо виконувати верифікацію даних. Ще одним значним обмеженням використання даних дистанційного зондування є потреба в ефективних алгоритмах атмосферної корекції даних з урахуванням об'єкта дослідження, оскільки навіть незначні зміни в концентрації газів, аерозолей та пилу у повітрі впливають на рівень відбиття електромагнітного випромінювання об'єктом спостереження, створюючи похибки у значеннях. Також варто відзначити, що зазвичай дані космічної зйомки мають великий обсяг і для їх обробки та інтерпретації необхідно використовувати спеціалізовані програмні засоби та сучасне апаратне забезпечення.

Сучасні метеорологічні та синоптичні служби погоди використовують такі джерела даних, значна частина яких отримується методами дистанційного зондування: дані метеорологічних станцій; дані мережі радіозондування; дані мережі авіаційних станцій; дані аеродромних метеорологічних станцій; інформація з мережі метеорологічних радіолокаторів; інформація всесвітніх прогностичних центрів; інформація центрів стеження за хмарами вулканічного попелу (VAACs) та інформація центрів стеження за тропічними циклонами (TCACs); дані літакового зондування (система AMDAR); дані метеорологічних супутників [3].

Моніторинг стану повітря

У жовтні 2017 року ЄКА здійснило успішний запуск супутника Sentinel-5P, призначеного для моніторингу атмосфери, вмісту забруднюючих речовин у повітрі та концентрацій парникових газів. На супутнику встановлено спектрометр TROPOMI, що фіксує електромагнітне випромінювання в ультрафіолетовому, видимому, ближньому та середньому інфрачервоних діапазонах, що дозволяє визначати вміст озону, метану, формальдегідів, аерозолей, оксиду вуглецю, діоксиду азоту та діоксиду сірки в атмосфері. Сенсор TROPOMI є вдосконаленою версією сенсора OMI, який встановлено на діючому супутнику Aura, а також сенсора SCIAMACHY, що працював на супутнику Envisat у 2003–2012 роках. Головне удосконалення TROPOMI — це покращене просторове розрізнення, що дозволяє отримувати зображення з розміром пікселю 7 x 3,5 км, та аналізувати забруднення у межах великих міст і виявляти джерела забруднення.

Дані Sentinel-5P доступні для завантаження з сайту EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>). На рис. 4.1 представлено карту середніх значень концентрації NO_2 за шістнадцятиденний період з 10 до 25 липня 2018 року на території України та Центральної Європи. Такий аналіз усереднених за певний часовий період значень дозволяє виявити постійні джерела викидів забруднюючих речовин. З великих міст України найзабрудненішими за вмістом NO_2 у повітрі є Запоріжжя, Київ та Дніпро. З регіонів — частина Донецької та Луганської областей.

У межах міста Києва найвищі концентрації NO_2 у повітрі у цей же період були зафіксовані у Голосіївському та Солом'янському районах, де джерелами викидів у атмосферу можуть бути транспорт, особливо на кільцевій дорозі та ТЕЦ, зокрема Дарницька ТЕЦ (рис. 4.2).

У Кривому Розі вміст NO_2 у повітрі очікувано є вищим у районі промислових зон та поблизу хвостосховищ (рис. 4.3).

Відповідно до звіту «Глобальне потепління на 1,5 градуси» для досягнення цілі утримання потепління на рівні 1,5 °C, до 2030 року викиди CO_2 повинні знизитися на 45% (у порівнянні з рівнями 2010 року). Викиди інших парникових газів (таких як оксид азоту та метану), також необхідно обмежити для досягнення мети. Але навіть за такої умови, все одно очікується потепління на 3,1–3,7 °C до 2100 року.

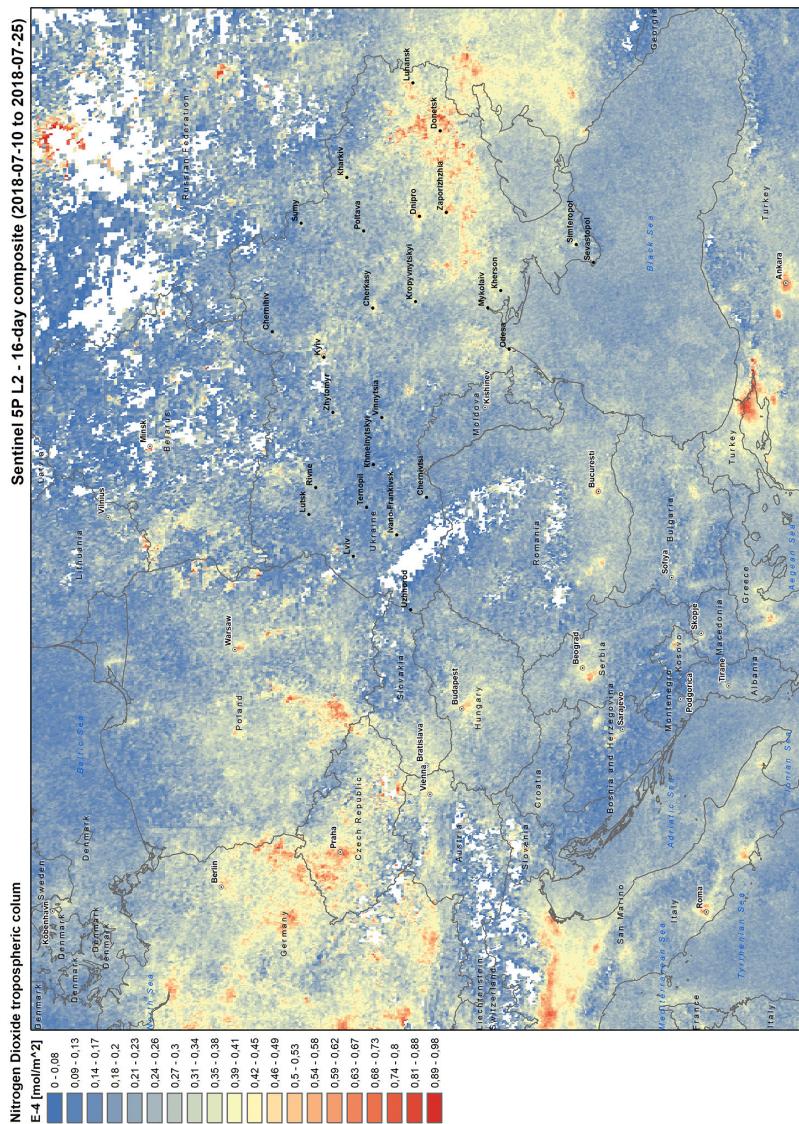


Рис. 4.1. Карта поширення концентрації NO₂ у повітрі в Україні та Центральній Європі

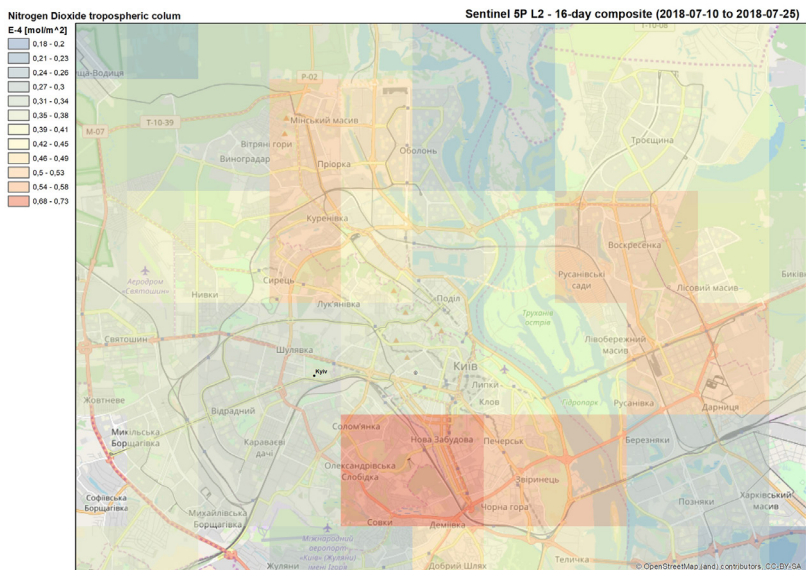


Рис. 4.2. Карта поширення концентрації NO₂ у повітрі у місті Києві

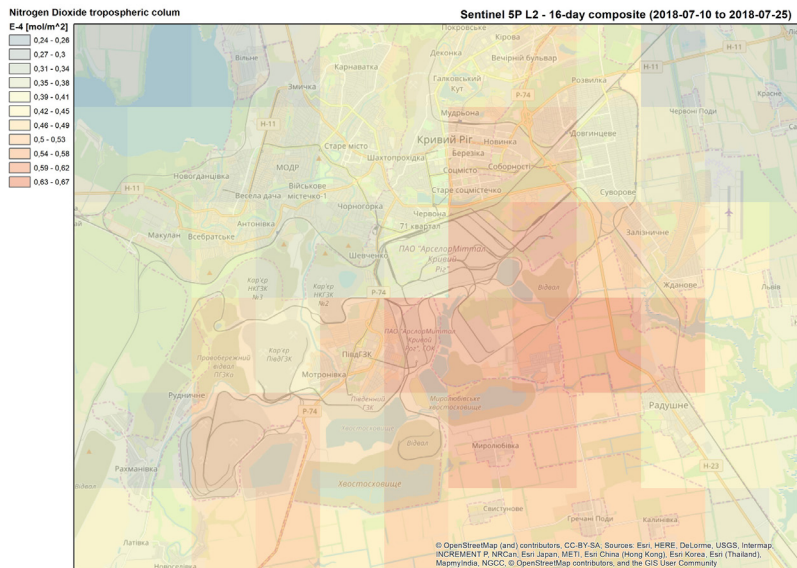


Рис. 4.3. Карта поширення концентрації NO₂ у повітрі міста Кривого Рогу

За супутниковими даними AIRS/Aqua (отриманими з порталу НАСА <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>) встановлено, що концентрація CO_2 в атмосфері в межах території України збільшується досить високими темпами — за період з 2002 до 2017 року на 35 ppm (рис. 4.4), що збігається з глобальними тенденціями на Землі.

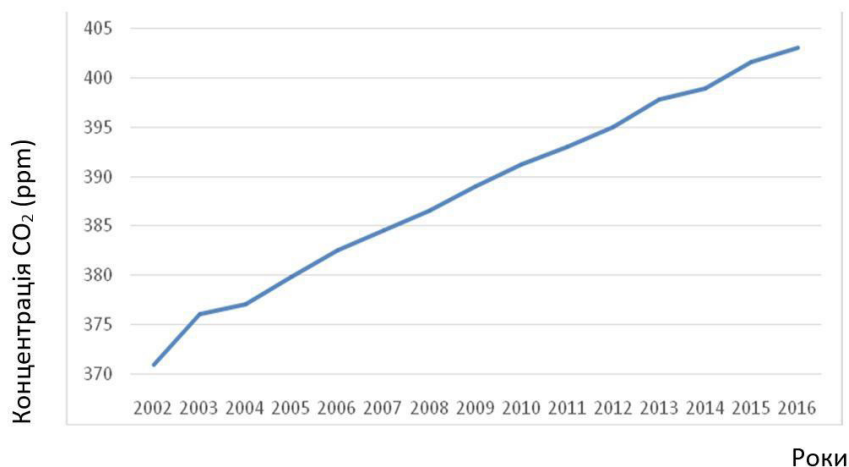


Рис. 4.4. Динаміка вмісту CO_2 в атмосфері України за супутниковими даними AIRS/Aqua

Аналіз динаміки льодового покриву

Острів Галіндез — це один із Антарктичних островів, що належить до групи Аргентинських островів Архіпелагу Вільгельма. На північно-західному мисі Марина острова Галіндез розташована Українська антарктична станція Академік Вернадський. Станцію заснувало Англійське Антарктичне Товариство під назвою «Фарадей», та у 1996 році її продали Україні за символічну ціну один фунт стерлінгів. Дослідження та спостереження, які виконують на станції упродовж усього року, є надзвичайно важливими для розуміння планетарних кліматичних процесів, оскільки дають змогу оцінити вплив та наслідки екстремальних змін та умов [4].

НАНЦ спільно з підприємством «ЕСОММ Со» та ДНВЦ «Природа», розробляючи геоінформаційну систему «Антарктик Вернадський», створили топографічну карту о. Галіндез та за супутниковим знімком QuickBird векторизували берегову лінію і межі льодового покриву. За даними метеорологічних спостережень за час існування станції Фарадей/Вернадський середньорічна температура у цьому районі зросла на $2,5^{\circ}\text{C}$ [5]. Очевидно, що це мало вплинути на структуру льодового покриву острова. Для того, щоб визначити інтенсивність таких змін, дослідники порівняли дані супутника QuickBird за 2003 рік та аерофотознімки острова, зроблені британцями у 1956 році (рис. 4.5).

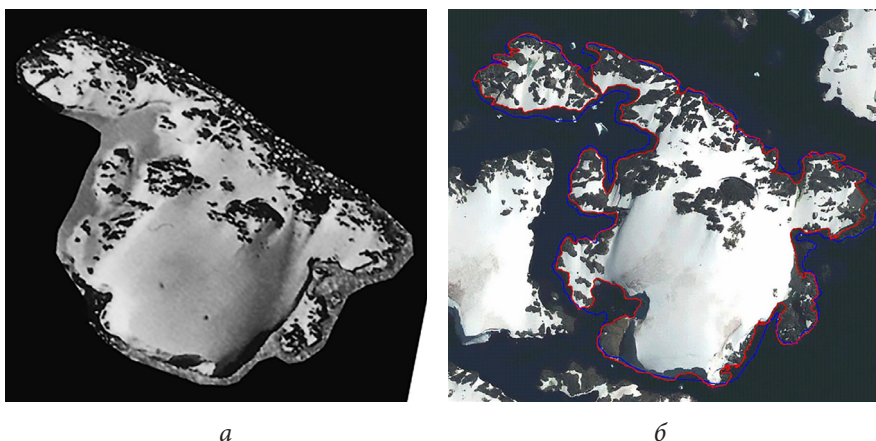


Рис. 4.5. Зображення о. Галіндез: *а* — аерофотознімок 1956 року;
б — супутниковий знімок QuickBird 2003 року
 (синім кольором виділено берегову лінію 1956 року,
 червоним контуром — за 2003 рік)

«Проживши в умовах Антарктиди майже 2,5 роки, я побачив на власні очі реальні кліматичні зміни та їхні наслідки впродовж різних пір року і сезонів, — пише Ігор Дикий, учасник трьох антарктичних експедицій, — танення льодовиків та снігового покриву Антарктики справді відбувається досить швидко, і це незаперечний факт. Антарктида — унікальний континент, розташований на Південному полюсі планети. Він увесь вкритий

снігом і кригою та, наче лакмусовий папірець, є індикатором стану Землі» [6].

Моніторинг зміни льодовиків наочно підтверджує загальну тенденцією глобального потепління на планеті. Дослідження льодового покриву розглянуто на прикладі льодовика Колумбія (Аляска, США), що є льодовиком прибережного типу в протоці Принца Вільяма на південному узбережжі штату Аляска (США). Він є одним з найшвидших рухомих льодовиків у світі, який почав танути й відступати на початку 1980-х років. На той час льодовик Колумбія мав довжину 64 км і товщину 600 м. Він був цікавим туристичним об'єктом на шляху між містами Валдіз і Уїттієр. Зазвичай, пороми зупинялися між групами айсбергів, щоб подавати гудки в надії, що через високий рівень гучності від льодовика відколеться брила. Але через деякий час цей льодовик почав танути й відступати. Айсберги стали швидше відколюватися в затоку Принца Вільяма, тому ущільнення снігу не встигало заповнювати ці втрати. Результатом швидкого відколювання стало те, що з початку спостережень за льодовиком він втратив 400 м товщини і відступив на 16,9 км [8].

Швидкість відступу льодовика досягла максимуму, майже 30 м на добу, в 2001 р. Середня швидкість становила близько 0,6 км (0,37 милі) на рік, починаючи з 1982 р. У найближчі кілька десятиліть очікується, що льодовик відступить ще на 15 км, до точки, де ложе льодовика підноситься над рівнем моря.

Завдяки фотознімкам National Geographic, зробленим у цій місцевості, можна наочно визначити масштаби процесів, що відбуваються (рис. 4.6).

Для визначення меж льодовика використовують різні способи. Один з них полягає у ручній оцифровці його меж, цей спосіб вимагає досвіду візуального дешифрування льодовиків. Інший спосіб базується на визначенні індексу снігу NDSI з використанням автоматизованої порогової класифікації, цей спосіб ґрунтується на різниці спектральних характеристик снігу і льоду від корінних порід [8].



а



б

Рис. 4.6. Фотографія льодовика Колумбія:

а — 2006 р. (Джеймс Балог); б — 2012 р. (Метью Кеннеді)

Normalized-Difference Snow Index (NDSI) — нормована різниця двох каналів (по одному у видимій ділянці спектра і один в ближній інфрачервоній ділянці спектра або короткохвильовій інфрачервоній частині спектра) використовується для відображення снігового та льодового покриву. Така методика дозволила розробити картосхему змін льодового покриву льодовика Аляска протягом сорока років та прослідкувати динаміку відступання льодовика і зміни його меж.

Моніторинг явищ Ель-Ніньйо та Ла-Нінья

Явище Ель-Ніньйо відоме здавна. Спершу його описували лише біля берегів Еквадору і Перу. Так, у XV столітті рибалки Південної Америки помітили, що на Різдво вздовж берегів океану періодично з'являється незвичайно тепла течія, яка приносить із собою багато сардини. На честь Христа течію, як подарунок природи, було названо El Nino (іспан. «хлопча, дитя»). Але слід зазначити, що цей феномен існує не менш як 100 тисяч років (це засвідчили геологічні і палеокліматичні дослідження). Системні ж коливання від теплих до нейтральних або холодних умов відбуваються кожні 3–5 років. Так, за останні сто років на Землі сталося 23 випадки Ель-Ніньйо та 15 випадків явища Ла Ніньйо [9].

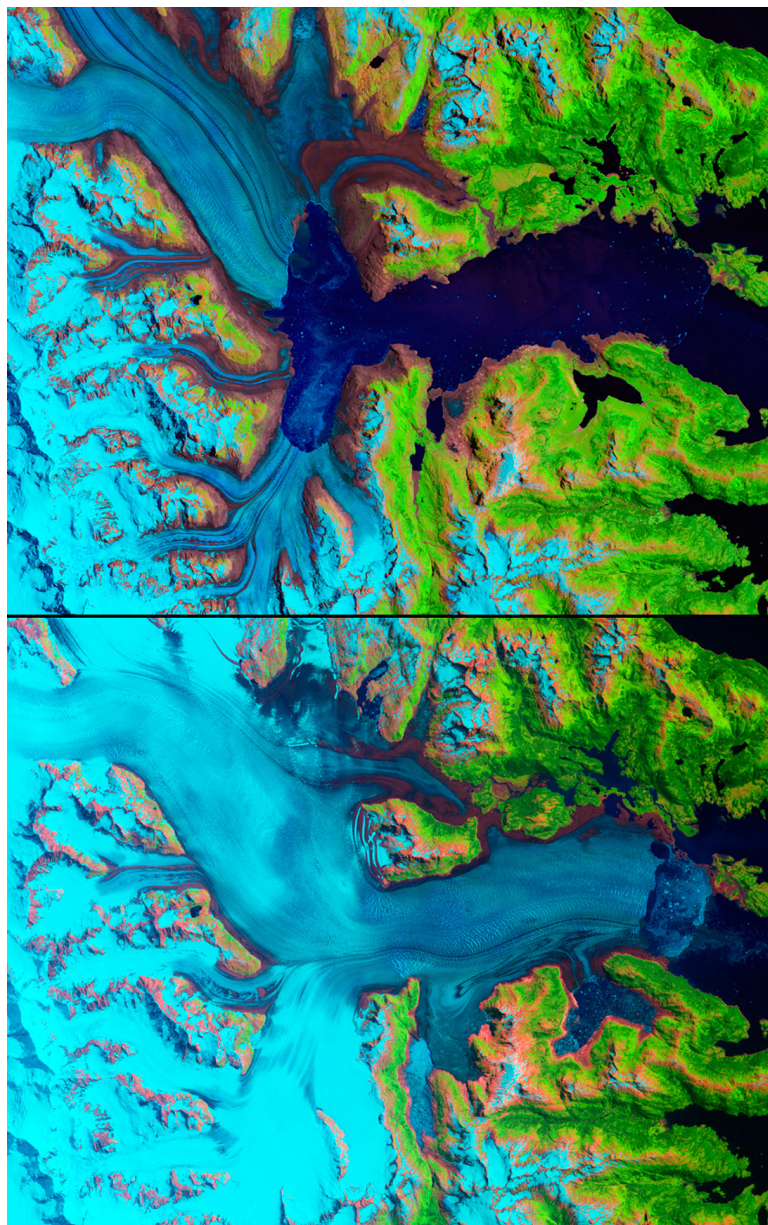


Рис. 4.7. Динаміка танення льодовика Колумбії на космічних знімках Landsat: *а* — 1980 р.; *б* — 2015 р. [7]

Століттями у планетарному масштабі більше тепла акумулюється у тропічній зоні, а менша його кількість — біля полюсів, і океан та атмосфера забезпечують перерозподіл цього тепла на планеті, формуючи збалансовану кліматичну систему із сезонними коливаннями температури та опадів. Однак кожні п'ять — десять років виникає явище перерозподілу тепла у зоні тропіків, що має потужний вплив на усю планету. Ці явища називаються Ель-Ніньо та Ла-Нінья — протилежні екстремальні значення температури води й атмосферного тиску в екваторіальній зоні Тихого океану. У період Ель-Ніньо температура поверхні Тихого океану у тропічній і центральній частинах збільшується на 5–10 градусів, а на протилежність цьому Ла-Нінья проявляється як зниження температури водної поверхні на сході тропічної зони Тихого океану. Це явище триває від шести місяців до року.

Щоденна супутникова зйомка у планетарному масштабі за період з 1992 року дозволила накопичити великий пласт даних для розуміння кліматичних процесів, зокрема таких як температура поверхні океанів та атмосфери, висота рівня моря та океанічні течії, що зараз дозволяє відстежувати ознаки наближення та прогнозувати явища Ель-Ніньо та Ла-Нінья (рис. 4.8).

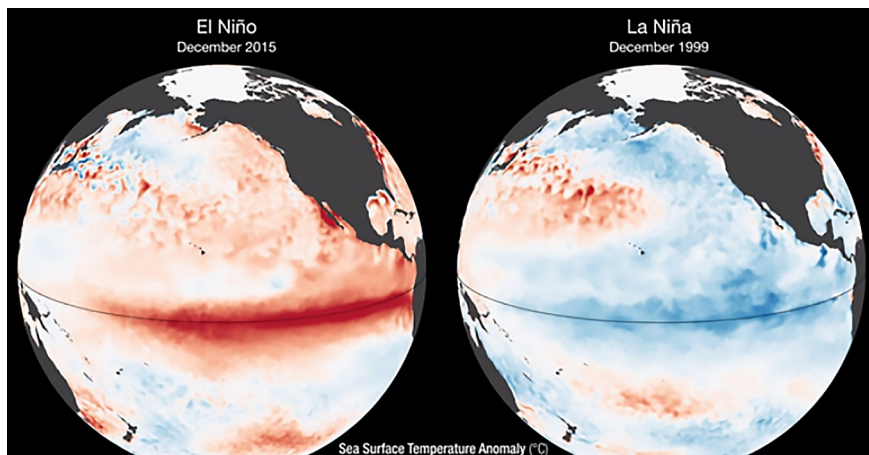


Рис. 4.8. Явища Ель-Ніньо та Ла-Нінья за даними супутникової зйомки температури поверхні океану [10]

Внаслідок того, що під час Ель-Ніньо відбувається інтенсивніше прогрівання води, утворюється аномальна зона конвекції, що призводить до збільшення кількості ураганів, злив та інших екстремальних погодних явищ, вплив яких проявляється також і в Україні. Саме тому важливим є своєчасне виявлення та прогноз наближення, інтенсивності та тривалості дії Ель-Ніньо у Тихому океані, забезпечити яке можуть дослідження океану з космосу.

Список використаних джерел

1. Special Report on Global Warming of 1.5° C. Incheon, South Korea: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 7 October 2018. Retrieved 7 October 2018. Режим доступу до ресурсу: <https://www.ipcc.ch/report/sr15/>.
2. GCOS, 2010: Implementation plan for the global observing system for climate in support of the UNFCCC (2010 update). WMO GCOS Tech. Doc. GCOS-138 WMO-TD 1523, 23 pp.
3. Авер'янова Юлія. Дисертація: Методологічні засади метеорологічного забезпечення аеронавігації з використанням поляриметричних засобів дистанційного зондування, 2017. Режим доступу до ресурсу: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/30514>.
4. Матеріали III Міжнародної конференції «Наукові дослідження в Антарктиці» (III УАК 2006), 29 травня — 2 червня 2006 р. Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/128246/01-Conference.pdf?sequence=1>.
5. Глотов В. М., Коваленок С. Б., Милиневський Г. П., Накалов Е. Ф., Фулитка Ю. В. Мониторинг малых ледников как индикатор изменений климата в районе Антарктического полуострова.
6. Дикий І. Глобальне потепління і його наслідки для Антарктиди та нашої планети. Режим доступу до ресурсу: <http://kolosok.org.ua/wp-content/uploads/2018/05/05.pdf>.
7. World of Change: Columbia Glacier, Alaska [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://earthobservatory.nasa.gov/WorldOfChange/ColumbiaGlacier>.
8. Підлісецька І., Томченко О., Сілівейстров Г. Технологія оброблення даних дистанційного зондування для потреб гляціології / І. Підлісецька, О. Томченко, Г. Сілівейстров // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, серія «Географія». — К. : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2016. — Вип. 2 (65). — С. 52–57.

9. Погоду робить Ель-Ніньйо [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://dt.ua/SCIENCE/pogodu_robit_el-nino.html.

10. NASA Sea Surface Temperature Anomaly & Ocean Color variations during El Nino vs. La Nina. Режим доступу до ресурсу: <https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=30747>.

4.1.2. Гідрологія

Космічна гідрологія — галузь землезнавчих наук, підрозділ гідрології, що займається космічним дослідженням гідросфери Землі. Сутність цієї науки полягає у безперервному моніторингу та дослідженнях окремих елементів або сукупності гідрологічних об'єктів.

Водні об'єкти добре розрізняються на космічних знімках, що дає можливість ефективно здійснювати їх дистанційне картографування та моніторинг. Космічні знімки дозволяють стежити за розвитком різноманітних процесів у ріках, озерах, водосховищах, виявляти їх наслідки, обумовлені як природними, так і антропогенними факторами.

Основними перевагами космічних знімків є: одночасність охоплення значної площі акваторії, безперервність інформаційного змісту знімка для кожної точки зображення, висока періодичність реєстрації стану водних мас і прибережних територій.

За допомогою даних ДЗЗ та програмних комплексів щодо їх обробки можна вирішити багато важливих гідрологічних завдань, в тому числі таких як [1, 2]:

- отримувати різномасштабні карти ландшафтів водозаборів та оцінювати ступінь їх антропогенного порушення;
- виконувати контроль гідрографічної мережі та споруд на заплавах і призаплавних ділянках, особливо в районах великих міст та в зонах великомасштабного гідротехнічного будівництва;
- здійснювати інвентаризацію водойм та водотоків;
- здійснювати моніторинг і прогнозування процесів заростання гирлових зон, заболочування прилеглих територій та трансформацію ландшафтів (у т.ч. історичну реконструкцію);
- визначати біологічну продуктивність водойм, оцінювати біоресурси (запаси фітомаси вищої водної рослинності, ступінь

розвитку угруповань зоо- і фітопланктону, площі нерестилищ, місць нагулу риб та кормівлі водоплавної птиці тощо);

- виявляти антропогенно спровоковані і природні зміни водної маси (природне та антропогенне евтрофування, зміну прозорості води, загальної мінералізації, наявність суспензій тощо);
- виявляти джерела забруднення водного середовища (точкових і дифузійних), їх інгредієнтів, у тому числі органічної й мінеральної суспензії, поверхневих плівок нафтопродуктів, розчиненої органічної речовини, виявлення зон «цвітіння» води, теплових забруднень і визначення шляхів міграції забруднень;
- здійснювати екологічний моніторинг на базі ГІС-технологій;
- визначати інтенсивність і масштаби процесів ерозії і абразії берегів, зсувних явищ, селевих переміщень і осідання ґрунту (суфозії), границь карстових зон, реєструвати переформування русел річок і відмілин;
- відслідковувати шкідливий вплив вод (підтоплення, засолення, катастрофічні паводки);
- здійснювати моніторинг та моделювання процесів затоплення території під час повеней за серією космічних знімків та тривимірними моделями рельєфу;
- визначати масштаби антропогенного навантаження (міських агломерацій, промисловості і сільського господарства) на прилеглі до водної системи ділянки суші (у т. ч. і рекреації);
- здійснювати моніторинг водного і льодового режимів водойм, спостерігати за процесами сніготанення в цілях прогнозування стоку, виконувати контроль льодової обстановки при проходженні паводку на річках;
- виявляти ділянки порушення санітарних зон в районах водозаборів;
- оцінювати стан водоохоронних територій, природоохоронних об'єктів та дотримання положень чинного законодавства, регулюючого взаємовідносини людини і природи.

На практиці розрізняють такі *види досліджень* [3]:

- дослідження річок;
- дослідження водосховищ, озер;
- дослідження боліт;
- дослідження льодовиків;
- дослідження вод морів, Світового океану;
- гідроаерологічні дослідження (космічна метеорологія);
- спеціальні гідрологічні дослідження;
- дослідження підземних вод.

***Моніторинг процесів заростання гирлових зон річок,
верхів'я водосховищ та заболочування прилеглих територій***

Дослідження будь-яких змін, що відбуваються в екосистемах, базується на різночасовому порівняльному аналізі. Серед сучасних методів побудови рядів ретроспективних порівнянь найбільш ефективними є ті, які ґрунтуються на використанні даних дистанційного зондування Землі. Особливо актуальне використання результатів дистанційного моніторингу в разі досліджень змін ландшафтної структури великих природних об'єктів, для яких проводити регулярні польові дослідження складно і витратно.

Найбільш доступною характеристикою ландшафту, в тому числі й аквального, є рослинність. Відстежуючи перебудову видової і ценотичної структур рослинного покриву, перерозподіл домінант або площ, зайнятих різними фітоценозами, можливо оцінити і спрогнозувати трансформацію ландшафтних комплексів. У будь-якій ландшафтній структурі виділяються просторові ділянки, яким властиві однорідність абіотичних факторів і формування характерного набору фіто- і зооценозів. Їх прийнято називати біотопами. Вони піддаються класифікації, можуть ранжуватися, займати значні площі, а їх межі чітко простежуються на космічних знімках. Серед них є ряд індикаторних, порівняння змін структури або площі яких дозволяє простежити основні тенденції розвитку водної екосистеми.

Аквальний ландшафт – аквальний комплекс у межах ландшафтної оболонки Землі, поділяється за походженням на природний та техногенний. Природні ландшафти поділяються на внутрішньоконтинентальні (моря, озера річки) та океанічні (внутрішні моря, окраїни моря та власне океанічні ландшафти). До техногенних відносять водойми штучного походження – водосховища, канали, ставки.

Фітоценоз або рослинне угруповання – це сукупність рослин, які займають певну однорідну ділянку і об'єднані взаємодією із середовищем, а через середовище – і між собою.

Біотоп – однорідний за абіотичними факторами простір середовища, зайнятий біоценозом (тобто місце життя видів, організмів). В свою чергу, **біоценоз** – це конкретна сукупність живих організмів на певному просторі суші або акваторії, що називається біотопом.

Як приклад наведемо дослідження трансформації водно-болотних угідь у верхів'ї великого рівнинного водосховища (Київського) на базі аналізу змін, що відбуваються в їх біотопічній структурі за результатами дешифрування ретроспективних рядів космічних знімків (рис. 4.9) [4].

Результати дешифрування космічних знімків верхів'я Київського водосховища за 30-річний період (1985–2015 рр.) показали значну трансформацію водно-болотних угідь. Ці зміни відбулися за рахунок перерозподілу площ основних типів наземних і аквальних ландшафтів. З одного боку, спостерігається зростання площ заболочених перезволожених оселищ (гігروتопів), з іншого — постійне зменшення гідротопів. На тлі цього відбувається постійне зростання площ заростей макрофітів і деградація лугової рослинності. Це підтверджує подану раніше гіпотезу про проходження у верхів'ях великих рівнинних водосховищ процесів вторинного дельтоутворення, спрямованого на відновлення природної структури русла, заплави і системи заплавлених водойм [6].

Моніторинг «цвітіння» води

«Цвітінням» води називають масовий розвиток мікроскопічних водоростей (зазвичай синьо-зелених), що супроводжується значним погіршенням якості води. Це викликано цілим комплексом факторів, таких як зміна клімату, надходження у воду великої

кількості різних мінеральних і органічних речовин, та пов'язане з інтенсифікацією господарської діяльності людини. Зокрема, надходженням у водойми забруднених біогенними речовинами комунальних чи сільськогосподарських стоків, мінеральних добрив, синтетичних миючих засобів тощо.

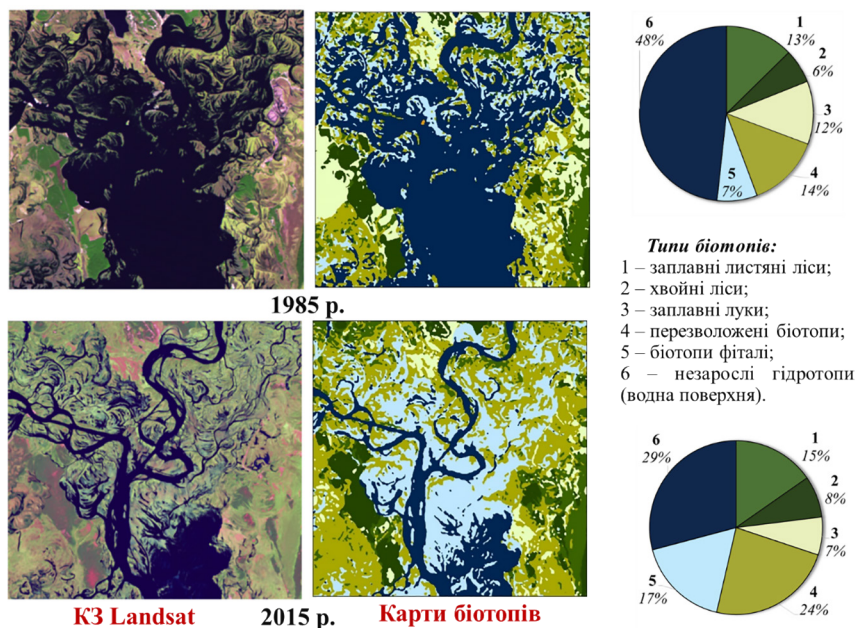


Рис. 4.9. Дослідження динаміки заростання верхів'я Київського водосховища за матеріалами дешифрування КЗ Landsat [5]

«Цвітіння» води є показником розбалансованих продукційно-диструкційних процесів в екосистемі, підвищення показників її трофності в сторону евтрофікації, що, зазвичай, супроводжується погіршенням якості води, аж до гіперевтрофності, коли збагачення водойми біогенами спричиняє посилені витрати кисню у воді, масове відмирання біоти та різку зміну параметрів екосистеми.

Трофіність — характеристика місця перебування (грунту, водойми) життя за його біологічною продуктивністю, зумовленою вмістом біогенних елементів.

Евтрофікація – збагачення водойм біогенними елементами, що супроводжується знищенням продуктивності водойми. Евтрофікація може бути наслідком природного старіння водойми, внесення добрив або забруднення стічними водами.

Гіперевтрофність – стан водойми, який характеризується надмірністю збагачення біогенними елементами.

Біогенні речовини (елементи) або біогени (від грец. *bios* – життя, *genos* – народження) – речовини, що найбільш активно беруть участь в життєдіяльності водних організмів. До них відносяться мінеральні сполуки азоту (NH_{4+} , NO_2^- , NO_3^-), фосфору (H_2P_{04-} , HPO_{2-4} , PO_{3-4}), кремнію (HSiO_3^- , SiO_{2-3}), заліза (Fe_{2+} , Fe_{3+}) і сполуки деяких мікроелементів.

Дифузне або розсіяне відбиття світла – явище відбиття світла поверхню, при якому світлові промені відбиваються в різних напрямках. Дифузне відбиття пояснюється розсіюванням світла на нерівностях поверхні, і є протилежним процесом до дзеркального відбиття.

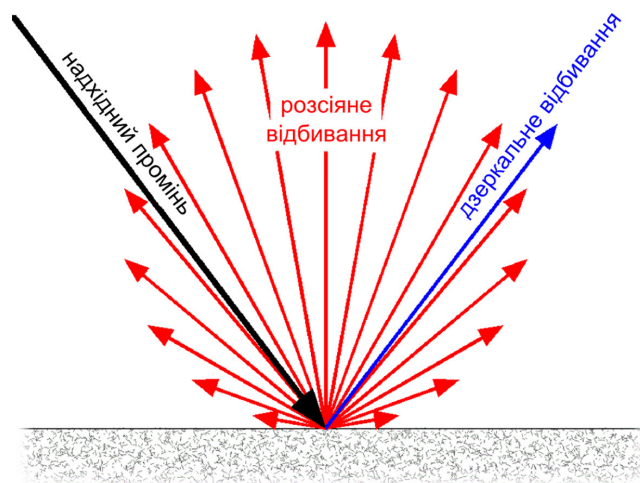
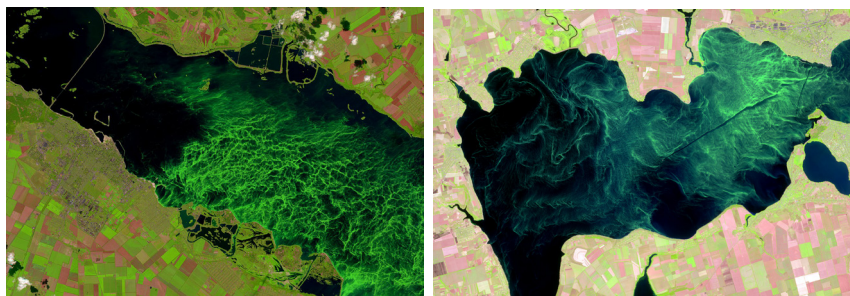


Рис. 4.10. Ілюстрація розсіяного та дзеркального відбиття

Проявляється «цвітіння» в зміні забарвлення води внаслідок масового розмноження мікроскопічних водоростей. Саме тому методи обробки космічних знімків для виявлення ділянок «цвітіння» води зазвичай базуються на аналізі варіацій коефіцієн-

та дифузного відбивання світла поверхневими і підповерхневими шарами води при збільшенні в них концентрації фітопланктону. Найбільше підходить для спостережень червона ділянка спектра видимого діапазону 600...700 нм та ближній ІЧ-діапазон. Для виявлення ділянок цвітіння води добре підходить вегетаційний індекс NDVI. Також додатково дешифрувальною ознакою при ідентифікації «цвітіння» води може слугувати текстура зображення. Так, для ділянок інтенсивного «цвітіння» найчастіше характерна специфічна ниткоподібна текстура (рис. 4.11).



а

б

Рис. 4.11. Зображення явища «цвітіння води» супутником Sentinel-2 на прикладі: а — Кременчуцького водосховища, отримане 22 серпня 2015 року; б — Каховського водосховища, отримане 10 серпня 2016 року [7]

Космічний знімок показує, що ділянки інтенсивного цвітіння витягуються уздовж течій і втягуються до вихрових рухів, окрім цього на перенесення водоростей найзначніший вплив має вітер. У періоди з тривалою теплою, сонячною і безвітряною погодою ціанобактерії об'єднуються в агрегати, які спливають до поверхні, утворюючи поверхневі або підповерхневі скупчення. На супутникових зображеннях ціанобактерії проявляються у вигляді яскравих ниткоподібних смуг або цілих скупчень. Причому колір цих плям залежить від стадії розвитку водоростей: від яскраво-зелених до буро-коричневих [2].

Інтенсивне цвітіння характерно, перш за все, для водойм зі слабкими течіями, зокрема таких, як каскад Дніпровських водосховищ. Наводимо приклад дослідження ділянок «цвітіння» води Київського водосховища, де був використаний вегетаційний

індекс, що дав можливість здійснити чітку локалізацію осередків цвітіння синьо-зелених водоростей (рис. 4.12).

Отримані результати дозволили картографічно відобразити та підтвердити результати наземних спостережень гідрометслужби ЦГО МНС України у 2013 році, які доводять, що якісні та кількісні показники розвитку фітопланктону Київського водосховища у 2013 році досягали максимальних значень у середній (с. Страхо-лісся) та нижній (с. Нові Петрівці) частинах водойми.

Моніторинг теплового забруднення водойм

Теплове забруднення — відбувається внаслідок надходження у водойми підігрітих вод від ТЕС, АЕС та інших енергетичних об'єктів. Найбільшу кількість теплої води скидають у водойми атомні електростанції. Забруднення виявляється у підвищенні температури води. Його супроводжує зміна хімічного та газового складу води, зменшення кількості кисню, «цвітіння» води, збільшення вмісту мікроорганізмів. Тепла вода змінює термічний і біологічний режими водойм і шкідливо впливає на їхніх мешканців. Як показали дослідження гідробіологів, вода, нагріта до температури 20–30 °С, діє пригнічуючи на рибу та інших мешканців водойм, а якщо температура води піднімається до 36 °С, риба взагалі гине.

Дані дистанційного зондування Землі в діапазоні довжин хвиль 8–14 мкм (довгохвильове інфрачервоне випромінювання) дозволяє отримувати інформацію про теплофізичні властивості об'єктів на поверхні Землі і ландшафтів різного роду.

Растрові дані теплового випромінювання із середнім просторовим розрізненням (100 м і більше), що надаються вільно всім бажаючим, представлені даними сенсора TIRS, встановленого на супутнику Landsat-8. Ці дані відображені в двох спектральних діапазонах (10,3–11,3 мкм і 11,5–12,5 мкм), для їх перетворення в розподіл температури використовується обернене рівняння Планка для теплового випромінювання «сірого тіла», суть якого в перетворенні спектральної щільності енергетичної яскравості теплового випромінювання, що надається сенсором TIRS з урахуванням коефіцієнта теплового випромінювання, що відображає здатність різних поверхонь випромінювати тепло.

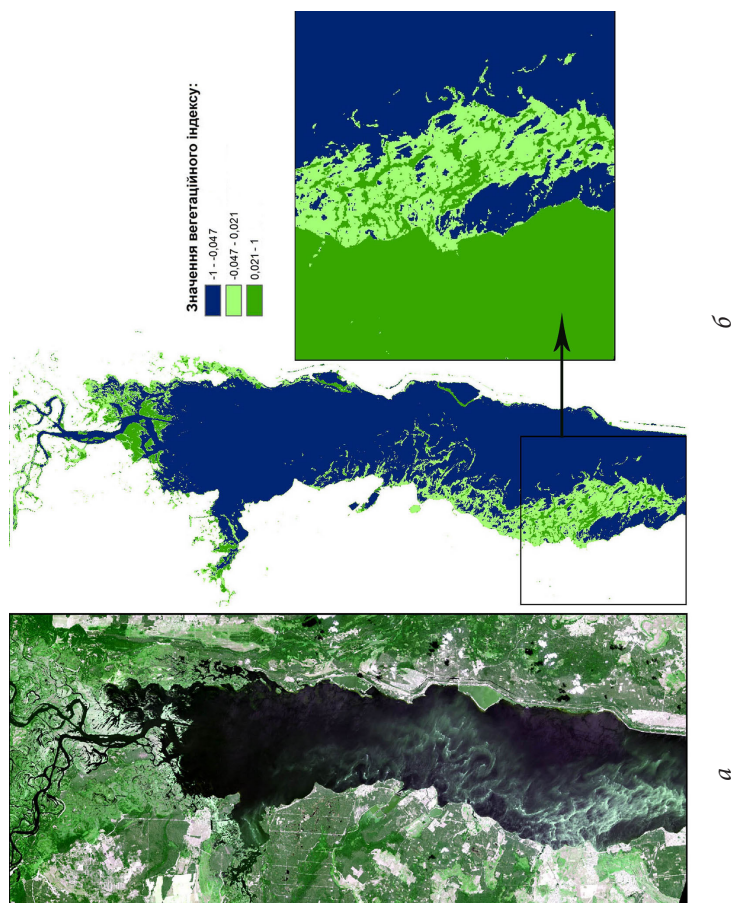


Рис. 4.12. Дослідження просторового розподілу ділянок цвітіння синьо-зелених водоростей на території Київського водосховища: а — фрагмент космічного знімка Landsat 8 станом на 13.08.2013; б — розподіл значень вегетаційного індексу у найбільшому осередку «цвітіння» в районі населених пунктів Козаровичі — Лютіж [2]

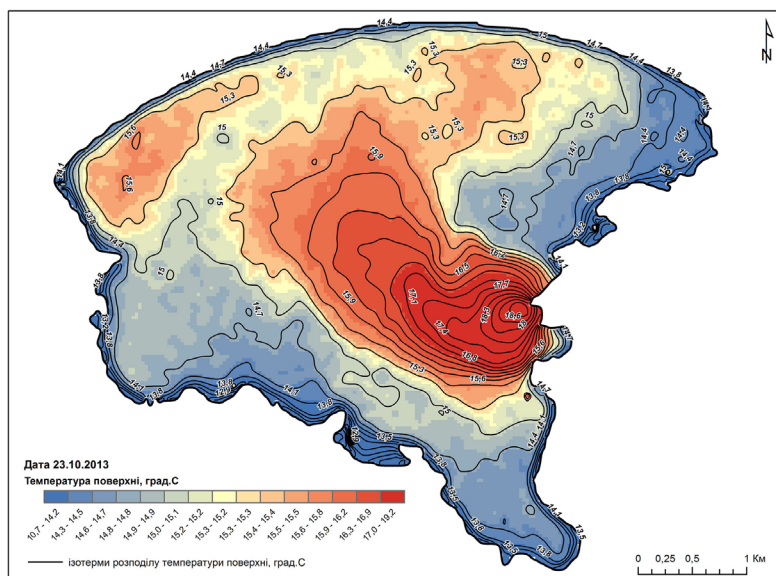
Став-охолоджувач (водойма-охолоджувач) — це штучна відкрита водойма, що призначена для охолодження конденсаторів турбіни, що дозволяє виробляти електричну енергію. Охолодження води у ставку здійснюється внаслідок випаровування і конвективної тепловіддачі.

Нижче наведено результати дослідження гетерогенності полів температури Нетішинського водосховища (водойми-охолоджувача Хмельницької АЕС). Став-охолоджувач (водойма-охолоджувач) — це штучна відкрита водойма що призначена для охолодження конденсаторів турбіни, що дозволяє виробляти електричну енергію. Охолодження води у ставку здійснюється внаслідок випаровування і конвективної тепловіддачі.

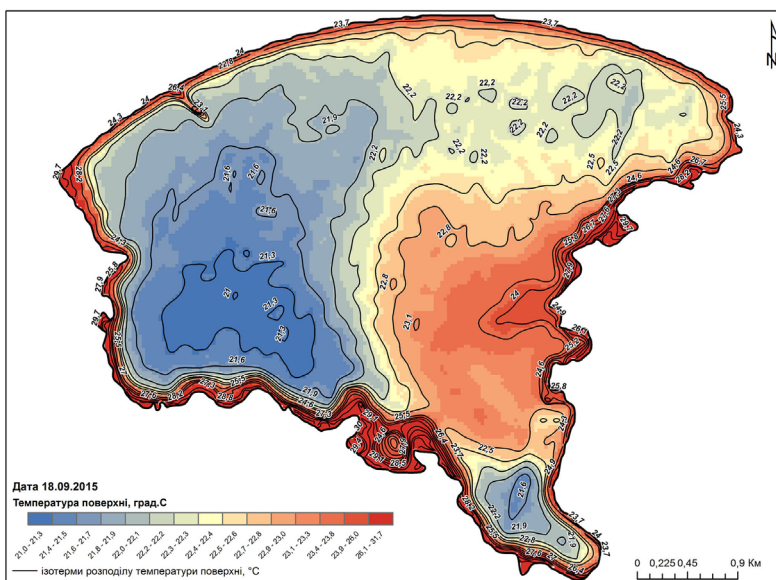
За даними зйомки KA Landsat 8, 18.09.2015 р. (рис. 4.13, б) можна бачити, що картина розподілу температур при різних умовах (при роботі 1 і 2-х блоків та різних напрямках вітру) досить неоднорідна. Можна виділити кілька термічних зон, хоча відмінності в показниках температури невеликі: зони підвищеної температури в східному і центральному районах водойми-охолоджувача, зони зниження температури — в південному і західному районах (рис. 4.13) [8]. Отримані теплові карти дозволяють оцінити яким чином циркулює скинута нагріта вода у охолоджувачі, та надати певні рекомендації щодо підвищення ефективності експлуатації водойми.

Дослідження розподілу температур поверхні океану

Зйомка за допомогою теплових інфрачервоних радіометрів, якими оснащені всі функціонуючі метеорологічні супутники, відкрила можливість одночасної глобальної фіксації температур поверхні океану, що неможливо було раніше здійснити з суден або літаків. Глобальні супутникові фотокарти температур морської поверхні SST (Sea Surface Temperature) складаються зі знімків AVHRR/NOAA, які з 2001 р. створюються в реальному масштабі часу на основі багатоканального алгоритму визначення температур і використовуються в оперативних цілях (рис. 4.14) [9]. Розподіл температур води представляє основну діагностичну ознаку для прогнозу ділянок з найбільш ймовірними рибними скупченнями.



а



б

Рис. 4.13. Розподіл показників температури поверхні Нетішинського водосховища на території Ізяславського району Хмельницької області: а — станом на 23.10.2013; б — станом на 18.09.2015 [8]

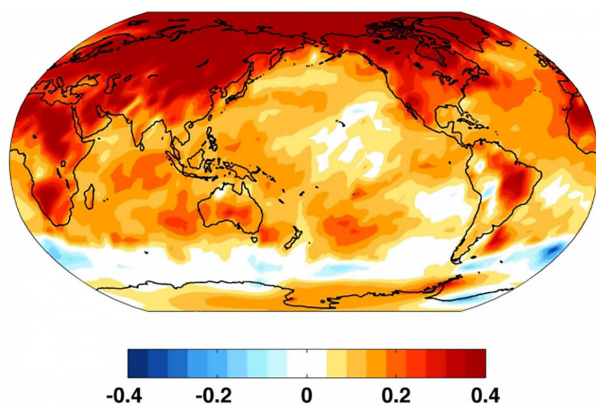


Рис. 4.14. Зміни температури за останні 50 років (в градусах цельсія за десятиліття) за даними теплової зйомки супутника NOAA [9]

Встановлений за супутниковими знімками характер розподілу температур води в океані істотно відрізняється від колишніх уявлень про нього. На противагу відображеній картами виданих атласів океанів плавній зміні температур на поверхні океану спостерігається дуже складна і контрастна картина, обумовлена струменевими течіями і вихровими утвореннями. У прибережних районах субтропічних і тропічних широт фіксуються фронти між теплими океанічними водами і більш холодними прибережними.

Крім вивчення власне температур води, тепла інфрачервона зйомка дає матеріал для дослідження динамічних процесів в океані, течій, океанічних вихорів і фронтів, апвелінгів та інших явищ, при вивченні яких залучають також матеріали про рівень океанічної поверхні.

Так, на знімку Атлантичного океану (рис. 4.15) чітко видно Гольфстрім, температура води якого істотно вища за температуру навколишніх вод океану, і вихрові структури — **ринги** — виникають на кордонах теплих і холодних вод [9].

Гольфстрім (англ. *Gulf Stream*) — тепла морська течія в північній частині Атлантичного океану, яка є могутнім теплим океанським потоком, що транспортує тепло з екваторіальних районів до півночі. Завдяки Гольфстріму відбувається потужна циркуляція води: теплої — на північ, а холодної — на південь. Ці процеси добре ілюструють теплові карти, отримані на основі даних ДЗЗ.

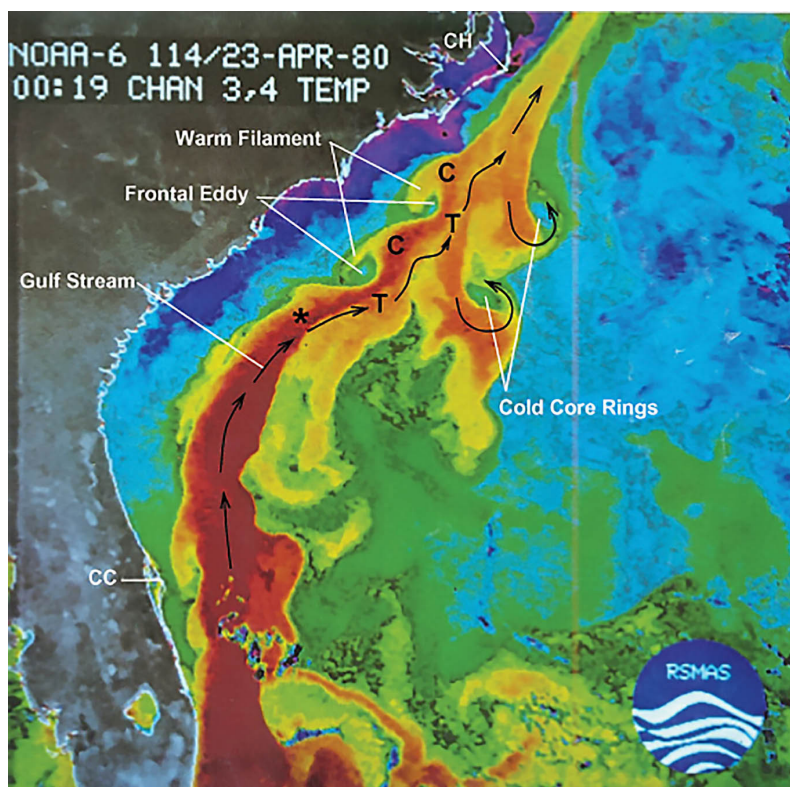


Рис. 4.15. Течія Гольфстрім у полі температури поверхні океану за даними теплової інфрачервоної зйомки радіометром AVHRR з супутника NOAA [9]

Дослідження руслових процесів

Як відомо, з плином часу русла рік змінюють своє планове і висотне положення. За період близько 30–50 років ріка може зміститись на відстань, яка дорівнює навіть ширині русла, можуть з'явитись нові протоки або острівні утворення. На сьогодні комплексні спостереження за динамікою русел з використанням даних ДЗЗ набувають все більшого поширення.

При дослідженні руслових процесів поєднання дистанційних аерокосмічних методів з наземними геоморфологічними

і геолого-геофізичними даними можуть забезпечити отримання якісніших і достовірніших відомостей про їх зміни. Складені в 1980-х роках великомасштабні топографічні матеріали із поданням рік часто уже не відповідають реальному стану гідрографічних об'єктів [10].

Динаміка руслових процесів зазвичай зумовлена природними факторами, в першу чергу, неотектонічними рухами.

Порівняльне дешифрування різночасових знімків р. Тиса показало, що за період з 1984 року на захід від смт. Солотвино русло річки змістилось ближче до самого населеного пункту, а на західній стороні досліджуваної території роздвоїлось, створивши, таким чином, своєрідний острівця. Південно-західніше селища в місці, де від річки відходить притока Іза, Тиса характерно «вигинається» знову до смт. Солотвино. На південь і південний схід від населеного пункту річка стає більш прямою і менш звислою (рис. 4.16) [11].

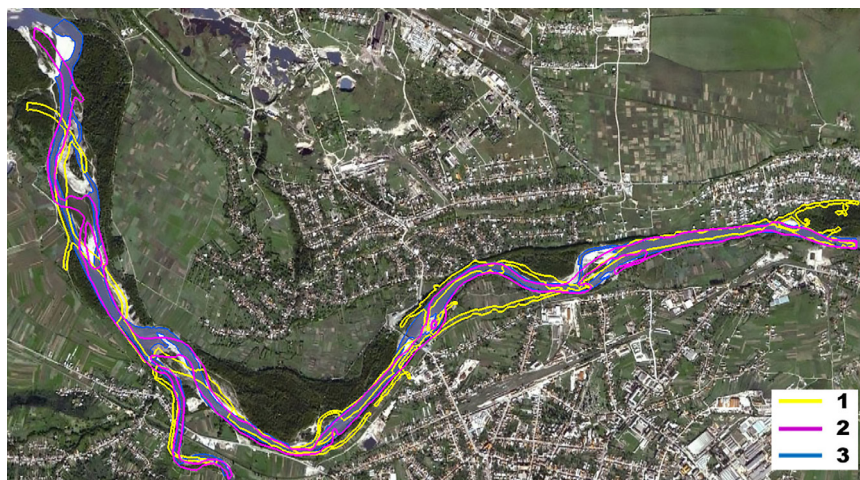


Рис. 4.16. Дослідження зміни русла р. Тиса [11]
(Умовні позначення: берегова лінія р.Тиса виділена на основі:
1 — КЗ КФА-1000 за 1984 р.; 2 — КЗ Landsat-7 за 2000 р.;
3 — КЗ Spot-5 за 2007 р.)

Історична реконструкція гідрографічної мережі та оцінка трансформації ландшафтів

Порівняння історичних карт і сучасних даних ДЗЗ дозволяє проводити реконструкцію гідрографічної мережі будь-якої території чи ландшафтних карт як окремих водойм, так і водних басейнів. Цікаві результати дає і порівняння вигляду водних об'єктів до і після антропогенних трансформацій. Прикладом може слугувати проведене оцінювання трансформації річища Дніпра та його заплави у верхній частині на прикладі Київського водосховища.

Первинна рослинність поліських заплав Дніпра і нижніх течій Прип'яті й Тетерева до утворення Київського водосховища була представлена деревно-чагарниковими, лучними, болотними і прибережно-водними (земноводними) фітоценозами. Київське водосховище, введене в експлуатацію в 1964 р., внесло відчутні зміни у природні умови краю: гідрологічні, підґрунтово-ґрунтові та еколого-біологічні режими лучних ділянок, які опинилися під впливом мілководного затоплення і підґрунтово-ґрунтового підтоплення.

Отримані карти реконструкції старого русла Дніпра дозволили відтворити історичний вигляд річки до утворення водосховища. Порівнявши ці матеріали з сучасними актуальними космічними знімками після дешифрування, було визначено масштаби затоплення і трансформації заплави Дніпра, яка відбулися внаслідок зарегулювання річки Київською ГЕС. Вигляд природного русла Дніпра та акваторії Київського водосховища в стані повного наповнення відтворено на рис. 4.18.

На рис. 4.17 детально представлено приклади поступової трансформації найбільш динамічної ділянки водосховища, а саме його верхів'я. На зображеннях добре видно, що за досліджуваний період відбулося значне заростання акваторії водосховища вищою водною рослинністю, і хоча нині вона у видовому складі значно відрізняється від історично притаманної лучної, але помітно, що форма заплави поступово відновлюється [12].

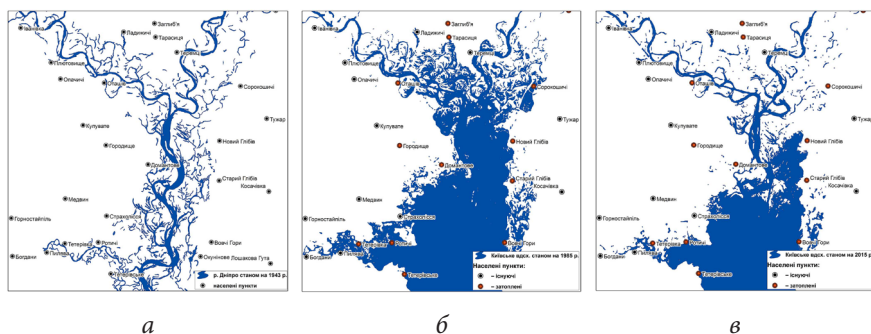


Рис. 4.17. Відновлення природного стану руслових і заплавних біотопів р. Дніпро у верхів'ях Київського водосховища. Вигляд досліджуваної ділянки на різні дати: 1943 р. — за німецькою топографічною картою (а), 1985 р. — за космічним знімком Landsat-5 (б), 2015 р. — за космічним знімком Landsat-8 (в) [12]

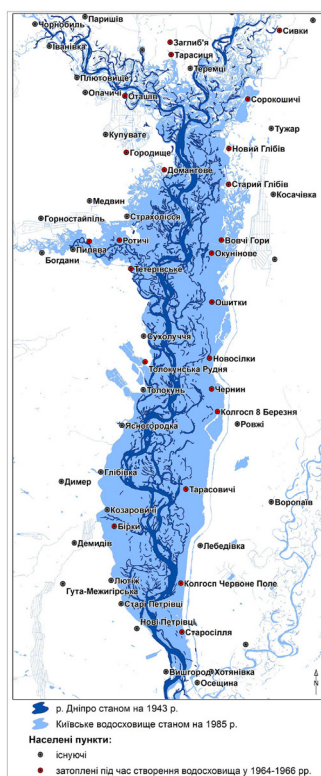


Рис. 4.18. Карта трансформації річища та заплавних комплексів р. Дніпро в результаті створення Київського водосховища [12]

Моніторинг процесів висихання водойм

Аральським морем називають колись велике, а зараз практично висохле солоне озеро, яке сьогодні виглядає як велика соляна пустеля. Його пересихання вважається однією з найбільш грандіозних екологічних катастроф сучасності, адже всього 50 років тому воно входило в четвірку найбільших озер нашої планети. Його площа становила 50 тис. км², а максимальна глибина — 68 м. Проте на даний час вже розпочалося його катастрофічне висихання, що безпосередньо було спричинено господарською діяльністю людини — будівництвом масштабних зрошувальних систем у степах Казахстану й Узбекистану, оскільки Арал — це солоне озеро-море, і тому його вода не підходила для поливу [13].

Море живилось із двох основних річок: Амудар'ї та Сирдар'ї, саме із них було вирішено проводити забір води для поливу колгоспних угідь. У 1960-му році обсяг води, що відбиралася із річок для поливу, складав 60 км³ на рік, а до 1990-го року — уже 120 км³. Відсутність річкового стоку порушила водний баланс Аральсько-го моря — об'єм води, який випаровувався із його поверхні, не поповнювався новою. Процес його зникнення почався в 1961 році і був дуже стрімким: за добу вода спадала на кілька десятків метрів від берега. Швидкість обміління моря зростала у прогресії від 20 см у 1960-х до 90 см за рік у 1980-х роках. До 1989 року Арал втратив близько



Рис. 4.19. Аральське море [13]

1000 км³ води і розпався на два озера: північне — Малий Арал, та південне — Великий Арал. На початок 2000-х років рівень води у Аралі знизився уже на 22 м від початкового, і становив всього 31 м. У 2009 році східна частина озера цілком пересохла, а західна перетворилась на кілька дрібних ізольованих озер [13].

Різке падіння рівня води у Аральському морі стало грандіозною екологічною катастрофою сучасності (можливо, навіть більшою ніж аварія на ЧАЕС), яка потягла за собою низку негативних змін. Пересихання катастрофічно відобразилось на місцевому кліматі та природних екосистемах. Водний басейн пом'якшував континентальний клімат регіону, а його пересихання призвело до того, що літо у колишній акваторії Аралу стало більш спекотним і сухим, а зими холоднішими, малосніжними і тривалішими. Проте найбільшою проблемою стали пилові бурі, які почали виникати у сухій долині колишнього моря. Вони розносять ядучу пило-сольову суміш, яка, на додачу, збагачена міндобривами та отрутохімікатами, що роками накопичувались у донних відкладах морського мулу, куди потрапляли із довколишніх полів [14].

Для того щоб врятувати від повного висихання хоча б частини Аральського моря, у 2005 році було збудовано Кокаральську греблю, що розділяє Північний (Малий) Арал та Південний (Великий) Арал. Проект також включав реконструкцію гідротехнічних споруд на річці Сирдар'ї. Завдяки греблі, висотою 45 м, рівень води у Малому Аралі піднявся до 42 метрів, а солоність води знизилася (рис. 4.21). Це дозволило відновити популяції риб, а також позитивно вплинуло на клімат регіону, який став м'якшим, зокрема зменшився рівень пилового забруднення та почали з'являтися дощові хмари, яких вже давно не бачили у цьому регіоні [16].

Динаміка льодової обстановки внутрішніх водойм

Скресання водних об'єктів проходить у різні строки і залежить від кліматичних умов, джерел живлення, будови русел річок, динаміки потоку тощо. Танення льоду найбільш інтенсивно відбувається коло берегів як за рахунок води, що збігає з басейну, так і в результаті того, що ґрунт нагрівається швидше. Внаслідок цього лід коло берегів руйнується і вздовж них утворюються смуги вільної від льоду води — **закраїни**. Рівень води швидко

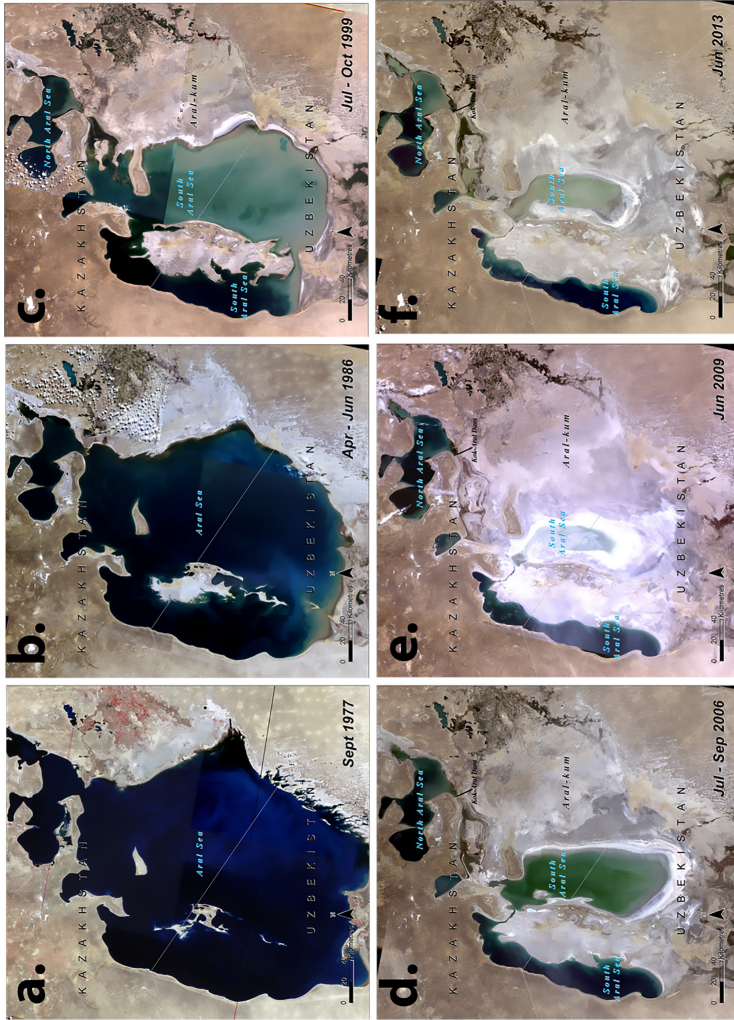


Рис. 4.20. Динаміка висихання Аральського моря на космічних знімках Landsat з 1977 до 2013 р.:
а — 1977 р.; б — 1986 р.; с — 1999 р.; d — 2006 р.; e — 2009 р.; f — 2013 р. [15].

Джерело: USGS/NASA; візуалізація UNEP/GRID-Stouxs Falls

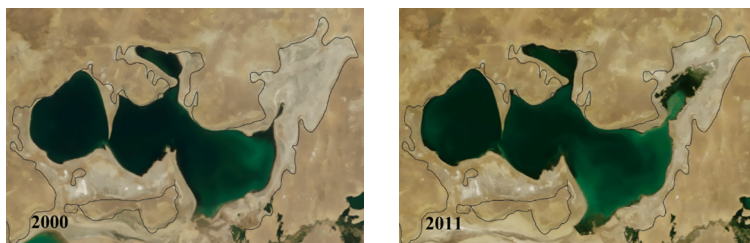


Рис. 4.21. Відображення процесу відновлення Малого Аралу на космічних знімках Landsat з 2000 до 2011 р.

зростає, льодовий покрив руйнується, і крига може частково рухатися вниз і знову зупинитися — це посування криги. Також переміщення крижин і льодяних полів на річках та водосховищах відбувається під впливом течій, це явище називається льодохід. Простори чистої води серед льодового покриву, що утворюються внаслідок посування льоду, називаються розводдя [17].

На космічному знімку представлено процес скресання — фази льодового режиму, що характеризується руйнуванням льодового покриву. На рис. 4.22 наведено приклади моніторингу льодової обстановки на території Кременчуцького водосховища у 2017 році. Наведені знімки синтезовані у «штучних кольорах», де кольорам зображення поставлені у відповідність наступні спектральні канали супутникового зображення із різних частин електромагнітного спектра: 1 — SWIR Band (1610 нм); 2 — NIR Band (842 нм); 3 — Red Band (665 нм).

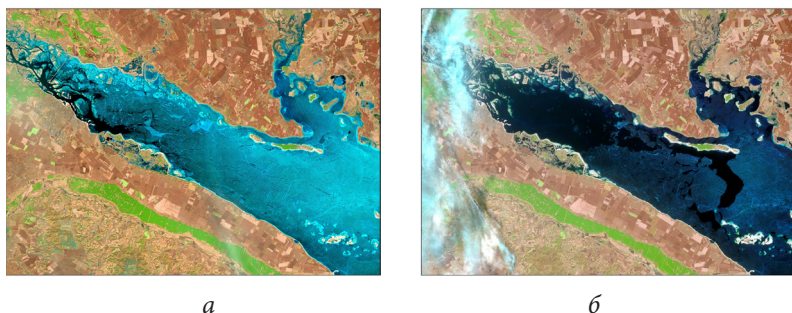


Рис. 4.22. Зображення льодових явищ на Кременчуцькому водосховищі, отримане супутником Sentinel-2: *а* — станом на 4 березня 2017 р.; *б* — станом на 11 березня 2017 р. [18]

Список використаних джерел

1. Компания «Совзонд». Водное хозяйство [Електронний ресурс] / Компания «Совзонд». — Режим доступу до ресурсу: <https://sovzond.ru/industry-solutions/water/>.
2. Томченко О. В. Використання космічної інформації дистанційного зондування Землі для моніторингу стану крупного рівнинного водосховища // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану): 36. наук. праць. — Запоріжжя : НТЦ ПАС НАН України, 2014. — № 11. — С. 135–143.
3. Космічна гідрологія [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Космічна_гідрологія.
4. Зуб Л. М., Томченко О. В. Оценка трансформации водно-болотных угодий с использованием космической информации ДЗЗ (на примере верховий Киевского водохранилища) // Гидробиологический журнал. — 2015. — Т. 51, № 6 (306). — С. 29–40.
5. Томченко О. В. Обґрунтування методів системного аналізу стану водно-болотних угідь з використанням даних дистанційного зондування Землі і наземних спостережень (на прикладі верхів'я Київського водосховища) : автореф. дис. канд. техніч. наук : 05.07.12 / О. В. Томченко. — К., 2015. — 22 с.
6. Водно-болотні угіддя Дніпровського екологічного коридору / В. І. Мальцев, Л. М. Зуб, Г. О. Карпова, В. А. Костюшин, В. М. Титар, А. В. Мішта, О. Д. Некрасова — К. : Недержавна наукова установа Інститут екології ІНЕКО, Карадазький природний заповідник НАН України, 2010. — 142 с.
7. Томченко О. В. Явище «цвітіння води» [Електронний ресурс] / О. В. Томченко — Режим доступу до ресурсу: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Явище_«цвітіння_води»_на_прикладі_Каховського_водосховища.jpg.
8. Протасов А. А., Томченко О. В., Силаева А. А., Новоселова Т. Н., Лубский Н. С. Использование наземных и космических методов в исследовании неоднородностей пространственной структуры биотических и абиотических компонентов водной техноэкосистемы атомной электростанции // IV Международная научно-практическая конференция: «Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды» (Гомель, 4–5 июня 2018 года). — Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2018. — С. 458–462.

9. Изучение температур поверхности суши и океана по тепловым снимкам [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/2/temperatura_poverhnosti_sushi_i_okeana.htm.

10. Шевчук В.М. Методика моніторингу руслових процесів за матеріалами аерокосмічного знімання: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.24.01 / В.М. Шевчук. — Львів : [Б.в.], 2011. — 25 с.

11. Готинян В.С., Томченко О.В., Рябенко Ю.М., Добридень Л.Д. Оцінка тенденцій прояву небезпечних природних процесів (на прикладі південної частини Тячівського району Закарпатської області) // Матеріали регіональної наради «Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенні проблем Закарпаття». — 2008. — С. 27–28.

12. Курач Т.М., Підлісецька І.О., Томченко О.В. Реконструкція вигляду річища центральної частини Дніпра за космічними знімками // Вісник геодезії та картографії. — 2015. — № 5–6. — С. 49–56.

13. Пересихання Аральського моря. Одна з жахливих екологічних катастроф сучасності! [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://mapme.club/poradi/2195-peresixannya-aralskogo-morya-odna-z-zhaxlivix-ekologichnix-katastrof-suchasnosti.html>.

14. Смерть моря [Електронний ресурс]. — 2010. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.naturalist.if.ua/?p=2593>.

15. World of Change: Shrinking Aral Sea [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://earthobservatory.nasa.gov/WorldOfChange/AralSea>.

16. Saving a Corner of the Aral Sea [Електронний ресурс]. — 2005. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.worldbank.org/en/results/2005/09/01/saving-a-corner-of-the-aral-sea>.

17. Клименко В.Г. Загальна гідрологія : навч. посіб. для студентів / В.Г. Клименко. — Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2012. — 254 с.

18. Томченко О.В. Льодові явища на Кременчуцькому водосховищі [Електронний ресурс] / О.В. Томченко — Режим доступу до ресурсу: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Льодові_явища_на_Кременчуцькому_водосховищі.jpg.

4.1.3. Геологія

В Україні професійна аерофотозйомка вперше була виконана в 1922 р. в околицях Харкова акціонерним товариством «Укр-повітряшлях». Спочатку це були дослідні роботи з отримання якісних аерофотознімків різних масштабів у видимому діапазоні. З 1924 р. аерофотозйомки набувають систематичного планового характеру. Першими замовниками зйомки та її активними користувачами були геодезисти, які в процесі створення та поновлення топографічних карт детальних масштабів східних і південних територій України почали використовувати топографічне дешифрування аерофотознімків. Геологи для вивчення території України їх почали використовувати дещо пізніше. Загалом впровадження даних дистанційних зйомок у вітчизняну геологічну галузь було досить тісно пов'язано з аналогічними роботами, які виконувалися в Росії (у минулому — СРСР).

Ініціатором використання дистанційних методів у геології був академік О.Є. Ферсман, який організував і очолив у 1929 р. Науково-дослідний інститут аерозйомки у Ленінграді (нині — Санкт-Петербург). Саме за його підтримки у 1929–1935 рр. на теренах важкодоступних районів Сибіру та Азії були виконані масштабні дослідження з вивчення природних ресурсів методами аерозйомки. Одним із напрямків цих досліджень було вирішення певних геологічних завдань. Досвід впровадження даних аерозйомки в геологорозвідувальний процес було вперше узагальнено в 1937 р. А.В. Гавеманом.

Під час Другої світової війни обсяги робіт з аерофотознімання значно розширюються, удосконалюються технологічні процеси їх здійснення, що було пов'язано з необхідністю швидкого, об'єктивного вирішення розвідувальних військових завдань. Якісного розвитку набуває зйомка не тільки у видимому діапазоні електромагнітного спектра, з'являються також матеріали аерозйомок у радарній та тепловій зонах електромагнітного спектра.

На теренах України матеріали аерозйомок при геологічному картографуванні вперше використали у 1962 р. О.О. Звягельський та В.М. Федірченко, які вивчали північну частину Українського

щита. Завдяки роботам цих дослідників було отримано нову геолого-тектонічну інформацію, яка переконливо свідчила про практичну можливість використовувати аерометоди в умовах геологічно закритих районів України.

Загалом період початку 70-х — кінця 80-х років ХХст. був надзвичайно активним і плідним у використанні аерокосмометодів у геології. На початку цього періоду застосовувалися дистанційні матеріали континентального і регіонального рівнів генералізації, пізніше — більш детальних масштабів, що дало змогу багатьом дослідникам здійснювати аналіз глибинної будови регіонів України і на його основі створювати відповідні космогеологічні карти різного рівня генералізації.

Важливим етапом використання космічної інформації було створення «Космотектонічної карти Українського щита» в масштабі 1:1 000 000, на якій зображено основні тектонічні елементи докембрію УЩ за матеріалами аерокосмічного знімання. Виконано металогенічний аналіз основних космоструктурних елементів щита і намічено нові рудоперспективні структури і структурні вузли.

З другої половини 80-х років дистанційні методи дедалі більше застосовуються в еколого-геологічних дослідженнях. Виконуються спеціалізовані роботи — аерокосмічний моніторинг геологічного середовища. У межах цих досліджень розроблено нові методичні способи побудови прогнозних карт для пошуків підземних вод, ймовірності прояву екзогенних геологічних процесів (срібна медаль ВДНГ СРСР), захищеності підземних вод.

Поява космічних апаратів природоресурсного призначення («Ландсат», «Спейс шатл» (США), «Метеор», «Космос», «Союз», «Ресурс», «Мир» (СРСР), «Спот» (Франція)), обладнаних бортовою спектро- та радіометричною апаратурою, яка забезпечує зйомку земних утворень в ультрафіолетовому, видимому, інфрачервоному діапазонах та в радіодіапазоні, дало змогу вченим провідних інститутів НАН України обґрунтувати теорію і методику використання дистанційної зйомки земної поверхні, комплексної геологічної інтерпретації матеріалів зйомок для пошуків нафти, газу, сульфідних руд, ділянок живлення і розвантаження підземних вод

регіонів України. Матеріали нових технологій дали можливість виконати геологічні дослідження з уточненням раніше виявлених і картографування нових структурних елементів.

З кінця 80-х до кінця 90-х років минулого століття почалося активне використання космічних матеріалів детального рівня для вирішення геологорозвідувальних завдань. Окрім того, розпочався перехід від якісного підходу до кількісного аналізу комплексу даних для оцінки перспективності прогнозованих аерокосмогеологічних об'єктів.

В останні десятиріччя на замовлення ДРГП «Північгеологія» на базі спектрометричного аналізу матеріалів ДЗЗ та рослинності розробляються методичні прийоми пошуків родовищ кольорових металів на рівні окремих рудних вузлів (В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько та ін. [1]), створюється фактографічна та інтерпретаційна частини Дистанційної основи Держгеолкарти-200 (В. Є. Філіпович, А. Г. Мичак, Н. В. Пазинич, О. І. Кудряшов, Л. П. Ліщенко), аналогічні роботи виконуються безпосередньо з ініціативи Державної геологічної служби України (О. О. Янцевич, О. Т. Азимов та ін.) [2].

Космічна геологія вивчає матеріальний склад, глибинну і поверхневу структуру земної кори, закономірності розміщення корисних копалин, використовуючи інформацію з космічних апаратів.

Космічні методи надають нову інформацію для багатьох галузей геології: геотектоніки, геоморфології, сейсмології, інженерної геології, гідрогеології, пошуку корисних копалин та ін. У міру того як розширюється коло наших відомостей про Землю, істотне значення набувають знання загальнопланетарних особливостей її будови і саме в цьому науці допомагають космічні апарати. На отриманих з космосу знімках можна виділити райони з різною тектонічною будовою, а все, що було відомо за даними наземних досліджень, побачити в узагальненому вигляді на одному зображенні. Залежно від масштабу зображення ми можемо вивчати континенти в цілому, платформи і геосинклінальні області (великі ділянки, які відрізняються від суміжних територій віком складчастості та особливостями історії розвитку), окремі складки і розриви.

Огляд з космічних висот дозволяє зробити висновки про сполучення окремих структур і загальну тектонічну будову регіону. При цьому в багатьох випадках вдається об'єктивно показати положення та уточнити будову поверхневої і глибинної структури, похованої під чохлом більш молодих відкладень. Це означає, що при аналізі космічних знімків з'являється нова інформація про структурні особливості регіону, яка дозволить істотно уточнити наявні або скласти нові геологічні та тектонічні карти і тим самим удосконалити і зробити більш цілеспрямованим пошук корисних копалин, дати обґрунтовані прогнози сейсмічності, інженерних геологічних умов і т.д. Космічні знімки дозволяють встановити характер і спрямованість молодих тектонічних рухів, характер і інтенсивність сучасних геологічних процесів. За знімками можна чітко простежити зв'язок рельєфу і гідромережі з геологічними особливостями досліджуваного об'єкта. Інформація з космосу дозволяє оцінити вплив господарської діяльності людини на стан природного середовища [3].

За допомогою космічних апаратів можна вивчати рельєф, речовинний склад, тектонічні структури верхніх оболонок інших планет. Це важливо для геології, оскільки дозволяє порівнювати будову планет, знаходити їх спільні та відмінні риси.

Серед **основних напрямків** використання методів ДДЗ в геології можна виділити наступні:

- структурний і метаструктурний аналіз поверхні Землі;
- аналіз локальних і глобальних аномалій;
- геологічне вивчення площ і складання геологічних карт;
- геоекологічний моніторинг екзогенних геологічних процесів [4]:
 - гравітаційних (схилових);
 - карстово-суфозійних і їх техногенних аналогів;
 - ерозійно-абразійних;
 - кріогенних;
 - прогнозування місцезнаходження корисних копалин;
 - регіональна стадія — оцінка прогнозних ресурсів корисних копалин нафтогазоносних і рудних провінцій, рудоносних зон і областей;

- детальна (пошукова) стадія — зональний прогноз з виявленням нафтогазоносних і рудних зон, рудних районів і вузлів;
- локальна (розвідувальна) стадія прогнозу — розвідка родовищ, оцінка запасів [5].

Дистанційні геологічні методи — це вивчення геологічної будови Землі, при якому апаратура для реєстрації інформації віддалена від об'єкта, який вивчається, а дослідження здійснюються без прямого контакту з ним. Інформація про об'єкти вивчення передається на приймач за допомогою світлового, інфрачервоного, ультрафіолетового, радіотеплового та інших видів випромінювання. При цьому використовується власне та віддзеркалене об'єктами випромінювання. Крім вказаних, застосовують гама-зйомку, дистанційну гравіметрію. Але головним джерелом аерокосмічної інформації були і залишаються матеріали зйомок у видимій і ближній інфрачервоній частинах спектра.

За допомогою аерокосмічної інформації в геології вирішуються **такі завдання**:

- вивчення будови земної кори;
- прогноз і пошуки сировинних енергетичних ресурсів;
- прогноз стихійних геологічних явищ;
- геоекологія і раціональне природокористування.

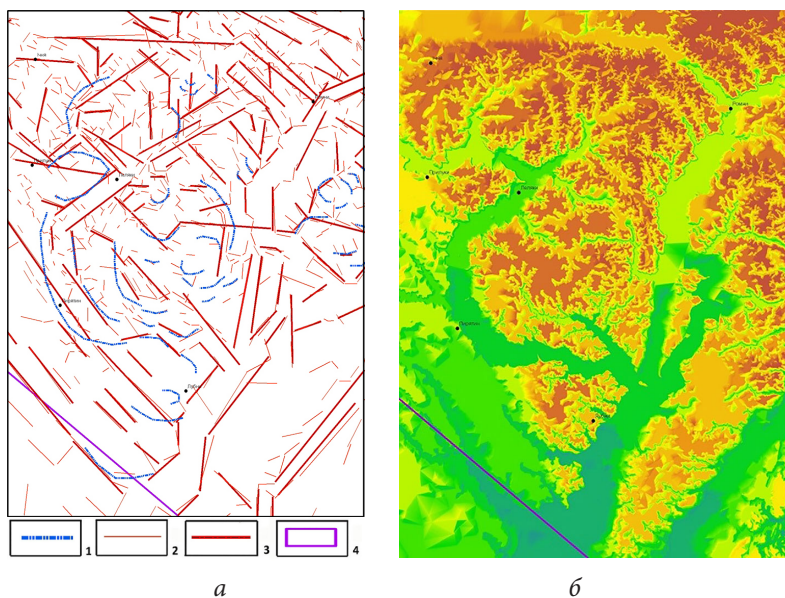
Методи дистанційного пошуку покладів корисних копалин

1. Регіональний рівень

Метою регіонального геологічного вивчення є виявлення найважливіших рис геологічної (тектонічної) будови, їх елементів і взаємовідносин між ними: лінійних структур різного простягання (меридіонального, поперечного, діагонального), які можуть бути накладеними, наскрізними, а також структурні зони, западини, регіональні блоки, масштабні кільцеві структури, великі вулканічні апарати (вулканіти) та ін. Це дає можливість оцінити загальну структурну позицію металогенічної провінції (області), на субрегіональному (в деяких випадках континентальному) рів-

ні, намітити загальні структурні закономірності, підійти до вирішення деяких існуючих дискусійних геолого-тектонічних питань регіону. На завершення регіональної стадії здійснити аналіз поширення ендегенного зруденіння (наявність значної кількості рудних мінералів) території дослідження, визначити основні закономірності розміщення корисних копалин [6, 7].

Проведення структурно-геоморфологічних досліджень (СГД) на регіональному етапі дозволяє раціональніше планувати детальні пошукові роботи. При проведенні регіональних робіт основними цілями СГД є вивчення або уточнення тектонічної будови нафтогазоперспективних регіонів і крупних локальних структур. Розглянемо приклади вивчення Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) з метою прогнозу структур, перспективних на нафту та газ (рис. 4.23) [7].



Умовні позначення: 1 — дугоподібні елементи рельєфу;
2 — лінеamenti; 3 — зони лінеamentів; 4 — територія досліджень.

Рис. 4.23. Виділення морфографічних елементів рельєфу (а) за даними SRTM (фрагмент радарного топографічного знімку) (б) на території Дніпровсько-Донецької западини [7]

2. Локальний рівень

При дешифруванні матеріалів дистанційних зйомок застосовувалися три основні прийоми:

- співставлення з космознімками, отриманими на територію еталонних ділянок — родовищ нафти та газу;
- співставлення та порівняння виділених аномалій у будові рельєфу з аномаліями над родовищем вуглеводнів з метою обґрунтування геоіндикаційних ознак проявлення глибинних структур в елементах ландшафту;
- геологічна інтерпретація результатів дешифрування на базі комплексного аналізу геолого-геофізичних, структурно-геоморфологічних, геохімічних, неотектонічних матеріалів та даних щодо нафтогазоносності району досліджень [8, 9].

За даними попередніх аерокосмогеологічних досліджень, що проводилися в межах ДДЗ, було доведено, що завдяки неотектонічній активності значна частина структурних елементів (локальних структур, зон розломів) знаходять своє відображення в будові рельєфу, особливостях ландшафту.

На основі аналізу геолого-геофізичних матеріалів, матеріалів дешифрування космознімків, топографічних карт було доведено, що лінеamenti та їх зони відповідають основним структурним елементам ДДЗ — зонам крайових розломів, розломам, що обмежують структурні вали, розломам північно-східного напрямку, вздовж яких спостерігаються зміни конфігурацій соляних штоків.

Розглянемо приклади вивчення Богатойського родовища, що розташоване на правобережжі р. Орель на схилах неогенової новохарківської тераси. З урахуванням геоморфології району робіт та особливостей її будови проведено структурне дешифрування ділянки родовища Богатойське за КЗ супутника Landsat-7, «Січ-2», радарної топографічної зйомки (SRTM) та TERRA (Aster) (рис. 4.24) [10].

Результатом проведених досліджень стала розломно-блокова модель Богатойського родовища (рис. 4.25).

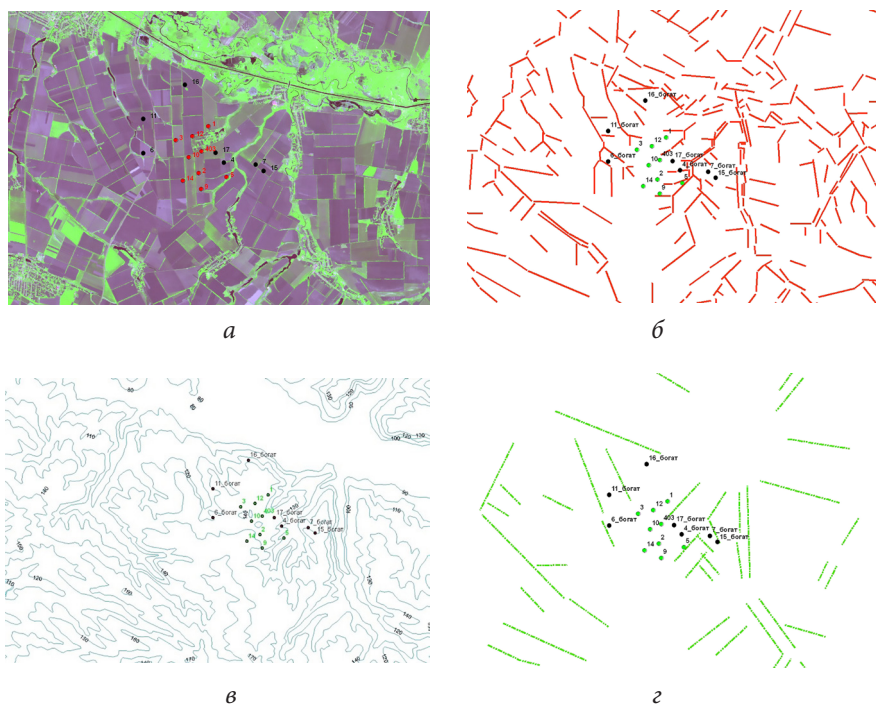


Рис. 4.24. Структурне дешифрування ділянки Богатойського родовища (Південна прибортова зона ДДЗ): а — космічний знімок супутника «Січ-2»; б — структурне дешифрування КЗ; в — ізогіпси рельєфу за даними радарної топографічної зйомки (SRTM); з — результати структурного дешифрування [10]

На стадії пошукових робіт основним завданням є уточнення і доповнення інформації про об'єкти, виявлені на попередній стадії робіт. Уточнюється структурний каркас, окремі лінеamenti, їх зони, кільцеві утворення, геологічні межі виявлених геологічних тіл. Отримується додаткова інформація для вивчення та уточнення закономірностей розміщення корисних копалин, виділяються потенційні рудоносні райони, вузли, окремі об'єкти для подальших пошукових, пошуково-оціночних робіт.

Класифікація дистанційних даних з урахуванням геолого-геофізичної складової дає можливість без створення спеціальних

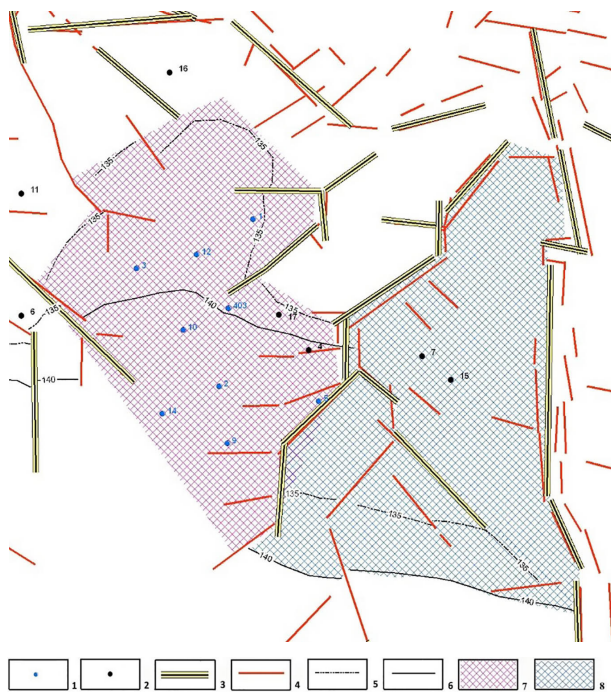


Рис. 4.25. Розломно-блокова модель Богатойського родовища [10]

Умовні позначення: 1 — свердловини продуктивні; 2 — свердловини непродуктивні; 3 — межі неотектонічних блоків; 4 — лінеamenti; морфотектоізогіпси: 5 — 135 м, 6 — 140 м; неотектонічні підняття: 7 — першочергові для постановки детальних геофізичних досліджень; 8 — другої черги

бібліотек для геологічних об'єктів визначати ступінь подібності прогнозних ділянок і типових еталонів на певний регіон та виокремлювати ділянки різного рангу перспективності [11].

Геоекологічний моніторинг екзогенних геологічних процесів

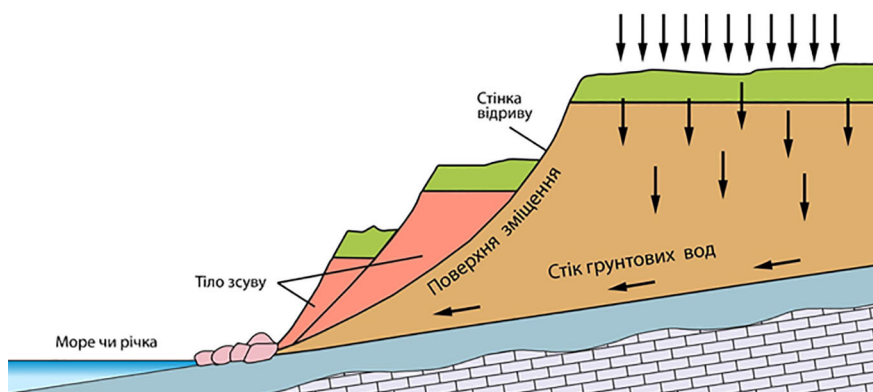
Розвиток господарського комплексу України відбувається в умовах нарощування техногенної дестабілізації довкілля, наслідком якої є подальше збільшення кількості кризових явищ в екологічних системах, активізація екзогенних геологічних процесів (ЕГП).

Екзогенні процеси – геологічні процеси, що відбуваються на поверхні Землі та в її приповерхневих шарах (вивітрювання, денудація, абразія, ерозія, діяльність льодовиків, підземних вод), зумовлені, головним чином, енергією сонячної радіації, силою тяжіння і життєдіяльністю організмів.

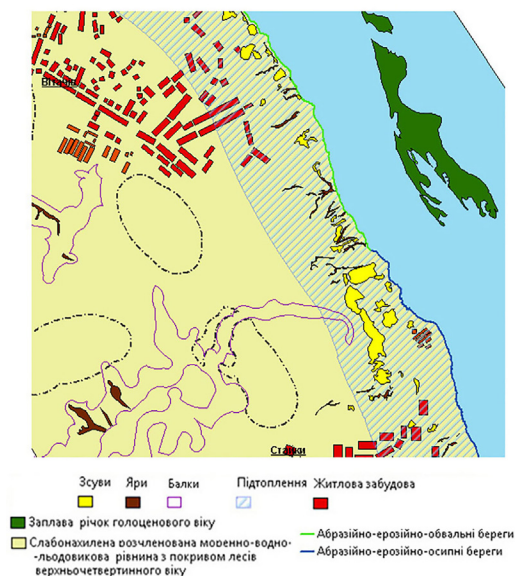
За матеріалами Державної служби геології та надр України (Держгеонадра) на території України поширені наступні ЕГП:

- зсуви;
- підтоплення;
- карст;
- абразія;
- переробки берегів водосховищ;
- просідання;
- ерозія;
- осідання земної поверхні над гірничими виробками.

Зсув – порушення природної рівноваги залягання верств гірських порід з розривом їх суцільності і переміщенням у горизонтальному або близькому до нього напрямі. Зсуви виникають під час горотворення, внаслідок зволоження ґрунту, а також діяльності людини (техногенні – при гірничих та будівельних роботах тощо).



Зсуви займають домінуюче положення серед екзогенних геологічних процесів внаслідок значного поширення майже у всіх адміністративних областях, насамперед у місцях інтенсивного



а



б



в

Рис. 4.26. Дослідження зсувних процесів правобережжя

Канівського водосховища у Київській області

на прикладі ділянки Витачів — Стайки: а — фрагмент карти;

б — вигляд на космічному знімку зсуву, спричиненого кар'єрною розробкою, с. Стайки, Кагарлицького району; в — вигляд цієї ж ділянки на фото, відображено зсуви по бурих і строкатих глинах

у межах верхньої зсувної тераси, с. Стайки [13]

господарського освоєння. Вони виникають на порівняно незначній площі, проте їх активізація має значні негативні наслідки через швидкоплинність їх розвитку та значні деформації та руйнування інженерно-господарських об'єктів. Головними природними чинниками активізації зсувів є метеорологічні, гідрологічні, гідрогеологічні, сейсмічні тощо. Активізація зсувів залежить від інтенсивності постачання ґрунту підземними та поверхневими водами. Об'єм ґрунту, який зміщується під час зсуву, може становити від декількох сотень до тисяч мільйонів кубометрів, а швидкість коливається від декількох метрів на рік до декількох метрів на секунду.

За останніми даними Держгеонадра, на території України зафіксовано близько 23 тис. зсувів. Найбільш масштабний розвиток

зсувів зафіксований на узбережжі Чорного моря у межах Одеської, Миколаївської областей та Криму, на узбережжі Азовського моря та в басейні річки Сіверський Донець (Донецька область), правобережжі річки Дніпро та його правих приток, у басейнах річок Уж, Тиса, Латориця, Ріка, Теремля, Тересва (Закарпаття) та басейнах річок Дністер, Прут, Черемош, Сирет, Стрий, Вишня (Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька області) [12].

Зсувні форми рельєфу на космічних знімках дешифруються більш світлішим тоном, а також за характерною овальною формою, водно-ерозійні — за хвилясто видовженою формою.

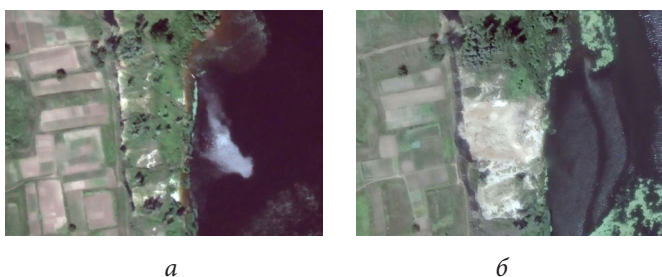


Рис. 4.27. Активізація зсувів смт Ржищів Кагарлицького району:
а — 2010 р; б — 2016 р.

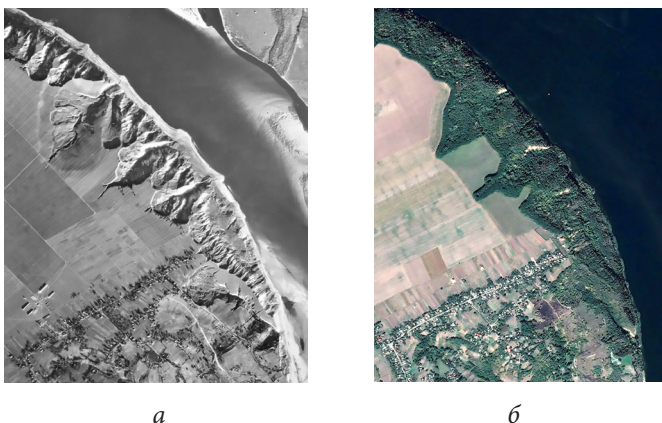


Рис. 4.28. Зсувозахисні насадження с. Витачів Обухівського району:
а — архівний аерофотознімок 1945 р.; б — сучасний космознімок
з ресурсу Google Планета Земля [13]

Підтоплення – комплексний природно-техногенний процес підвищення рівня ґрунтових вод і збільшення вологості порід зони аерації. Головними факторами підтоплення є господарська діяльність людини та зміна гідрокліматичних умов території. На розвиток підтоплення впливають зрошування земель, підпирання ґрунтових вод водосховищами, погіршення дренажності території внаслідок замулювання малих річок, засипання балок та ярів, втрати води з технічних мереж, порушення режиму випаровування підземних вод тощо.

Процес **підтоплення** є найбільш поширеним серед сучасних ЕГП, що проявляється як у природних умовах, так і під впливом техногенних чинників. Площі підтоплення на території України, за даними Держгеонадра, сягають 89,062 тис. км² (14,7% території), в 4747 населених пунктів спостерігається підтоплення різної інтенсивності [12]. У природних умовах схильність до підтоплення мають території найбільш понижені у геоморфологічному відношенні. До цього типу відноситься територія Українського Полісся (Волинська, Житомирська, Рівненська області та північна частина Київської). Тут під дією природних чинників сформувалась область регіонального високого положення рівнів ґрунтових вод. Рівні ґрунтових вод залягають на глибинах від 0 до 2,0 м, частіше 0,2–0,5 м. У Поліссі зосереджено майже 70% заболочених земель України, утворення яких відбувається внаслідок постійного надлишкового зволоження.

Природно-техногенне підтоплення має місце в центральних та південних регіонах України: у Дніпропетровській, Запорізькій, Харківській, Луганській, Донецькій та на півночі Одеської, Миколаївської та Херсонської областях. Баланс ґрунтових вод на таких територіях слабо порушений або порушений внаслідок збільшення їх живлення, що пов'язане зі зниженням природного дренажу території. Найбільш інтенсивно підтоплені території, що прилягають до заплав річок, ділянки в зонах впливу водосховищ та каналів, підірвані гірничими виробками тощо.

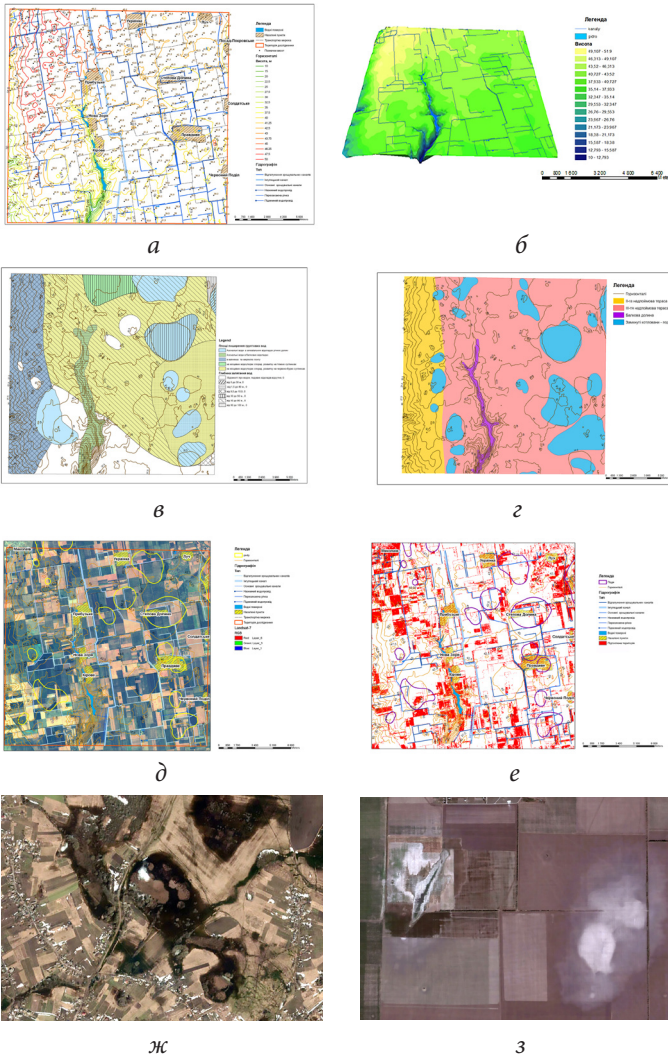
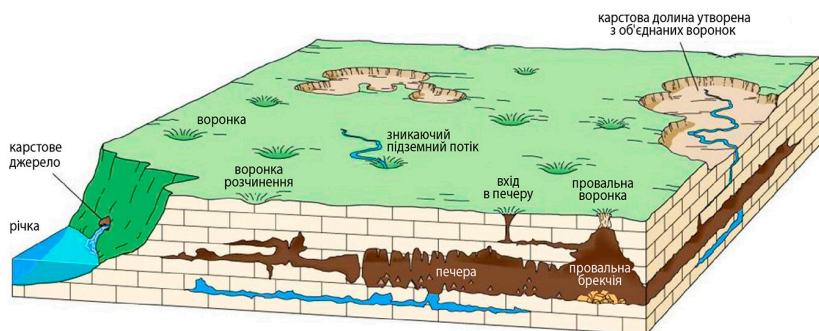


Рис. 4.29. Дослідження процесів підтоплення на території Жовтневого р-ну Миколаївської обл: *а* — топографічна основа; *б* — тривимірна (3D) модель рельєфу; *в* — карта умов залягання ґрунтових вод; *з* — геоморфологічна карта; *д* — співставлення знімку LANDSAT-7 та цифрової картографічної основи; *е* — карта постійних та періодичних підтоплень у Херсонській області; *ж* — ділянка підтоплення на K3 QuickBird; *з* — приклади засолення ґрунтів на K3 QuickBird [14]

Карст — геологічна формація, яка утворюється в процесі розчинення чи вилугування гірських порід поверхневими чи підземними водами і формування специфічного (поверхневого та підземного) рельєфу. Термін походить від назви вапнякового плато Карст (або Крас) біля Трієстав Словенії. Карстуванню легко піддаються такі породи: сіль, гіпс, вапняки, доломіти, крейда, мергель. Внаслідок карстових процесів утворюються такі форми рельєфу, як карри, карстові вирви (лійки), улоговини, понори, шахти, печери, підземні річки та джерела [15].



(авторське право рисунку The McGraw-hill companies
з доповненнями)

Карст є особливо небезпечним екзогенним процесом, який розвивається при взаємодії води з розчинними гірськими породами, що призводить до порушення стійкості території — її здатності зберігати функціональні несучі властивості під впливом інженерних споруд. Раптова активізація карсту може призводити до виникнення миттєвих провалів або осідання земної поверхні.

На 74,2% території України за даними Держгеонадра поширені породи, в яких, за певних умов (достатньої кількості опадів та наявності порід, що карстуються), може відбуватися карстоутворення. Розвиток підземних і поверхневих карстопроявів відмічається майже повсюдно, до числа найбільш поширених поверхневих форм відносяться воронки, западини, ніші. Велика кількість карстових воронок спостерігається на ділянках поширення карсту відкритого типу, що займає 1,9% від усієї території України, та покритого — 14,5% [12].

За уточненими даними загальна кількість облікованих карстопроявів складає майже 22 тисячі одиниць, але в природі їх набагато більше.

На космічних знімках дешифрується чимало карстових форм. Серед них — карри, западини, лійки (у тому числі зайняті озерами), долини специфічної морфології тощо. Крім цього, якщо визначити на космічному знімку планове розташування тальвегів та вододілів, то помітно, наскільки істотно ця територія відрізняється від районів без карсту. Тут виділяються замкнені улоговини, ерозійні форми іноді замикаються на понори, а не впадають у річки, спостерігається характерний плановий малюнок ерозійної мережі [16].

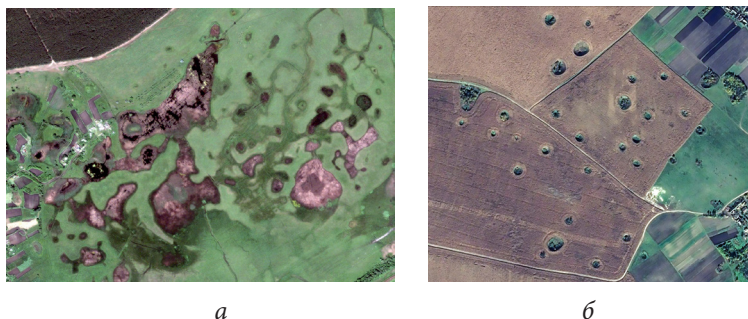


Рис. 4.30. Приклад процесів карстоутворення на КЗ QuickBird з ресурсу Google Планета Земля, найхарактернішими є блюдцеподібні лійки, темний колір фотону яких символізує про замулювання водою: *а* — карстоутворення в межах селища Другий Лиман Дворічанського району Харківської області; *б* — карстові лійки на захід від с. Новоселівка Городенківського району Тернопільської обл. [17]

Абразія — процес руйнування берегів (океанів, морів, озер чи великих водосховищ) і знесення гірських порід у береговій зоні водойм хвилями і прибоєм. В результаті абразії створюються специфічні форми рельєфу: абразійні уступи (кліфи), хвилеприбійні ніші, підводні абразійні тераси або платформи (бенчі) та інші. Коли відбувається абразія берегів штучних водосховищ, її називають **переробкою берегів**, під якою розуміють процеси їх формування і руйнування безпосередньо після заповнення водосховищ [18].

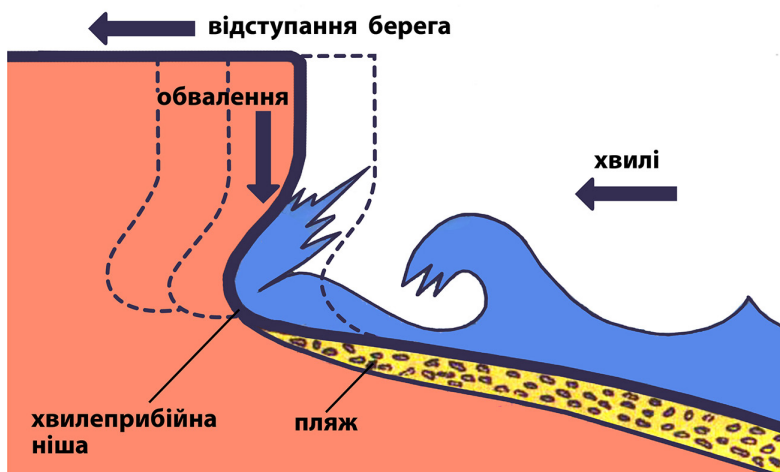
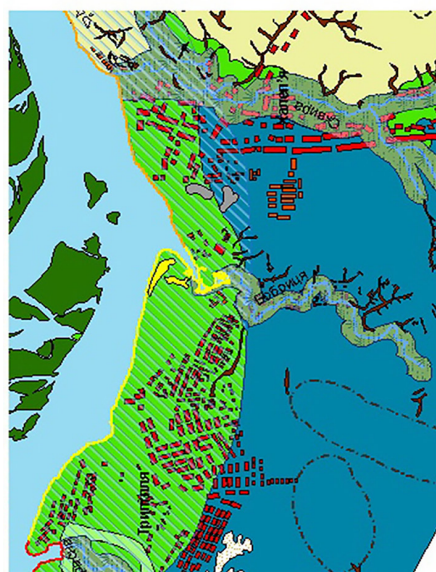


Рис. 4.31. Схема руйнування берега
внаслідок хвилю

За даними Держгеонадра розвиток **абразії** продовжується на узбережжі Азовського та Чорного морів (у межах Донецької, Запорізької, Миколаївської, Одеської областей та АР Крим), а також на внутрішніх водоймах — озерах та лиманах. Активізація процесу пов'язана з інтенсивною господарською діяльністю (зарегулювання річкового стоку, нераціональне освоєння пляжної смуги, надмірне видобування піску з прибережних територій, порушення природного режиму міграції наносів). Абразія виступає чинником, що підсилює розвиток процесу зсувоутворення через розмив та замочування нестійких гірських порід узбережжя.

Основними чинниками, які обумовлюють розвиток абразії є геолого-геоморфологічні (літологія порід, неотектоніка, сейсміка, морфологія берегу і пляжу), гідрометеорологічні (хвильовий, вітровий та рівневий режим моря) умови та господарська діяльність людини. Довжина берегової лінії з розвитком абразії складає 1415 км. З них активізація зафіксована на ділянках в 973,7 км, при цьому 253 км берега ускладнені зсувами. Загальна довжина берега на забудованій території становить 730,5 км, а піддається абразії 501 км [12].



- Зсуви Суфозійні просадки
 Яри Кар'єри
 Осипи Заболочування
 Заплава річок голоценового віку
 Перша надзаплавна тераса
 верхньочетвертинного віку
 Слабонахилена озочленована моренно-водно-льодовикова рівнина з покривом лісів
 верхньочетвертинного віку
- Абразійно-ерозійно-денудатійні береги
 Абразійно-ерозійно-зсувні береги
 Абразійно-ерозійно-обвалюючі береги
 Підтоплення
 Річки
 Акваторія р. Дніпро
- Слабонахилена розчленована горбисто-пасова моренно-водно-льодовикова рівнина верхньочетвертинного віку
 Житлова
 Промислові об'єкти



б



в

г

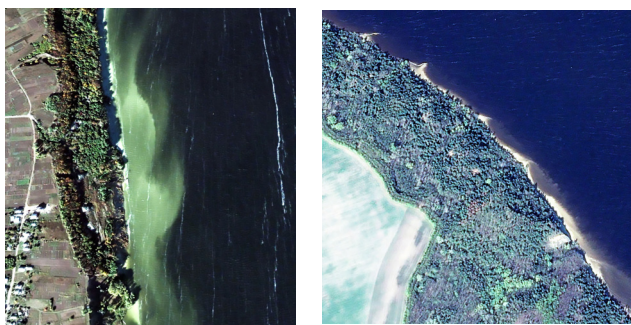
а

Рис. 4.32. Дослідження абразійних процесів правобережжя Канівського водосховища в межах Київської області на прикладі ділянки Трипілля-Халеп'є: а — фрагмент карти; приклад акумулятивного берега в районі с. Халеп'є Обухівського району на фото (б, г) на космічному знімку (в) [13]

Процес **переробки берегів водосховищ** має ті самі чинники та умови розвитку, що й абразія. Створення водосховищ порушує природний хід формування схилів річкових долин — на зміну річкової ерозії приходить хвильова абразія. Інтенсивність переробки берегів залежить від їх геологічної будови та розмірів водосховища, яке визначає параметри хвиль.

Найбільшу в Україні систему водосховищ з довжиною берегової лінії 3529 км утворює Дніпровський каскад. Тут протягом 1329 км берега переробка відбувається постійно, і вони потребують інженерного захисту. Решта — 611 км берега захищені інженерними спорудами, а 1589 км є «нейтральними», де розвиток процесу мінімальний за рахунок пологості берегів. Максимальні швидкості переробки берегів каскаду Дніпровських водосховищ відмічались у перші 5–10 років їх існування, коли береги, складені пухкими породами, відступали на 50–100 м/рік. Згодом, середня швидкість не перевищувала 5,0 м/рік, максимальна (на окремих ділянках) — 20,0–30,0 м/рік [12].

Осідання ґрунту — опускання масиву ґрунту під впливом достатнього зволоження, при якому в значній мірі знижується його міцність. Проявляються просідання в межах площ залягання лесових ґрунтів, особливою властивістю яких є здатність просідати при замочуванні.



а

б

Рис. 4.33. Приклади абразійних берегів у Київській області на космічних знімках з ресурсу Google Планета Земля:
а — на півночі смт Ржищів Кагарлицького району;
б — на заході від с. Витачів Обухівського району

Головними джерелами даних ДЗЗ, що дозволяють отримати інформацію про екзогенні процеси, є сучасні, архівні та історичні матеріали аерофото- та космозйомки. На знімках екзогенні процеси виявляють за рядом прямих (форма, колір, структура, текстура зображення) і непрямих (особливості рослинного покриву) інформаційних ознак. Лесові та лесоподібні ґрунти поширені на площі 363,77 тис. км², що становить 60,3% території України, з них ті, що мають здатність до **просідання**, — 44,25% площі. Це породи особливого стану, які мають пористість більше 45%, малу вологість, фільтраційну анізотропію (водопроникність підвищену у вертикальному напрямку по відношенню до горизонтального), значний вміст легкорозчинної солі, переважання пилуватих часток над глинистою складовою в гранулометричному складі. При замочуванні вони мають здатність давати додаткове ущільнення як від власної ваги, так і при додатковому навантаженні з одночасною зміною структури ґрунту. Ця властивість називається просіданням [12].

Ерозія — процес руйнування ґрунту водним потоком (водна ерозія), вітром (вітрова ерозія, або дефляція), льодом. В результаті водної ерозії утворюються яри, балки, річкові долини тощо [19].



Рис. 4.34. Приклади прояву суфозійних просадок у Київській області на космічних знімках в районі с. Стайки Кагарлицького району (а) та с. Витачів Обухівського району (б)

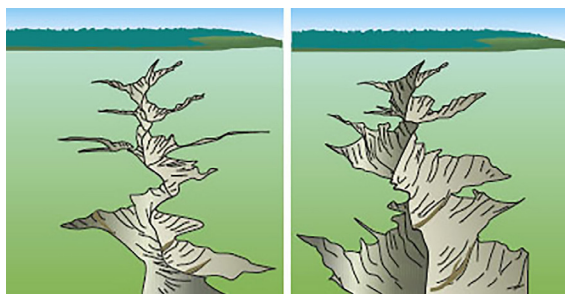


Рис. 4.35. Етапи розмиву і зростання яру внаслідок водної ерозії

Ерозія — один з головних зовнішніх (екзогенних) чинників формування рельєфу земної поверхні. Це процес руйнування верхніх найбільш родючих шарів ґрунтів.

На території України широкий розвиток має: руслова ерозія постійних водотоків (річок) — бічна та глибинна; ерозія тимчасових водотоків — лінійна та яружна; схилова ерозія — площинний змив (винос гумусу з ґрунту) [12]. На рис. 4.35 світлі ділянки — змиті ґрунти, в яких верхній гумусований шар ґрунту винесений водою, а на поверхню виходять палево-бурі слабогумусовані шари ґрунту. Отже, чим світліший ґрунт, тим менше в ньому гумусу.

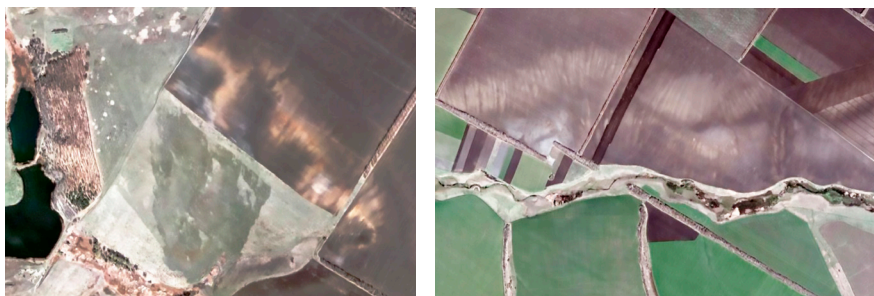


Рис. 4.36. Приклади відображення площинної ерозії в Харківській області Близнюківського району на КЗ QuickBird; світліший фототон зображення вказує на ділянки площинного змиву ґрунту: а — ділянка розвитку площинної ерозії с. Водолазьке; б — промивина поблизу с. Микільське [17]

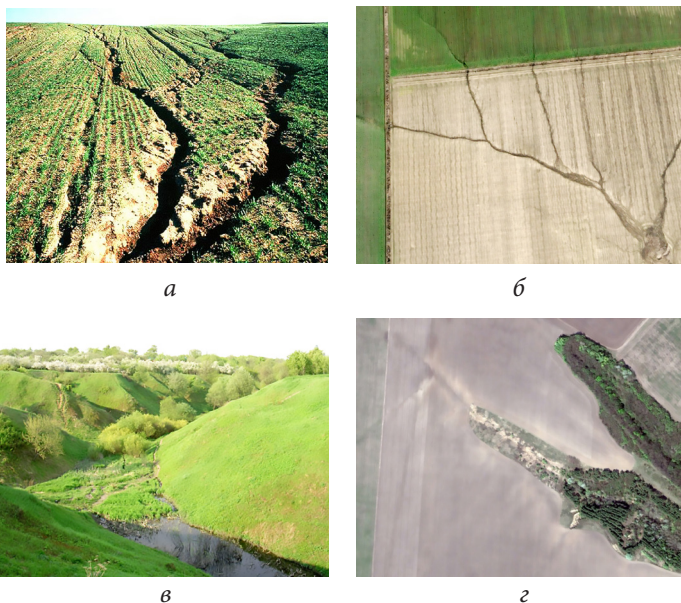


Рис. 4.37. Приклади відображення лінійної та яружної ерозії: а — прояв лінійної ерозії на фото; б — вигляд лінійної ерозії на космічному знімку з ресурсу Google Планета Земля (с. Калачеве Березнегуватського району Миколаївської обл.); в — вигляд яружної ерозії на фото; з — прояв яружної ерозії на космічному знімку (сmt Ржищів Кагарлицького району Київської області) [20]



Рис. 4.38. Приклади протиерозійних насаджень поблизу сmt Ржищів Кагарлицького району Київської області: а — 1945 р.; б — 2016 р.

Просідання земної поверхні над гірничими виробками є одним з найбільш значних техногенних проявів впливу гірничих робіт на геологічне середовище. Негативні зміни у геологічному середовищі багато в чому залежать як від способу розробки та ліквідації шахт, так і від геолого-гідрогеологічних і структурно-тектонічних природних умов, які в кожному випадку мають свою специфіку [12].

З розвитком цього процесу пов'язано зниження інженерно-геологічної стійкості порід, розущільнення масивів, що залягають над підземними виробками, перерозподіл напруги навколо виробленого простору. Виїмка пластів вугілля та інших покладів корисних копалин викликає утворення в надрах землі пустот значних розмірів. Порооди, що залягають в покрівлі гірничих виробок, під дією сили тяжіння та гірського тиску приходять в рух, обумовлюючи розвиток процесу зрушення всієї товщі, включаючи земну поверхню, при якому виникає порушення їх суцільності з утворенням нових зон тріщинуватості. Потужність цієї зони, як правило, становить 40–60 м. Товща гірських порід, що залягає вище (300–400 м), плавно осідає без порушення суцільності масиву. Товща, що знаходиться під нею, прогинається, утворюючи мульди осідання поверхні. При цьому виникають чи активізуються небезпечні геологічні процеси (підтоплення та заболочення земель, інтенсифікація карстових і суфозійних процесів тощо, погіршується якість підземних та поверхневих вод). Загальна площа підроблених територій перевищує 5,5 тис. км².

Найбільш негативні наслідки просідання земної поверхні відмічені в межах промислово-міських агломерацій, переважно у місцях проходження шахтних виробок під забудованими територіями. У таких зонах знаходяться міста Донецьк, Макіївка, Горлівка, Єнакієве, Білозерське, Калуш, Сокаль, Червоноград, Кривий Ріг, Павлоград та інші [12].

Зокрема у районі селища Солотвино на різних глибинах утворилися порожнечі вилуговування, що призвели до порушення надсоляної товщі, провалів та виникнення на поверхні землі карстових лійок і мульд просідання, зокрема у східній частині соляного штока в Солотвино на площі 43 га відбувалося інтенсивне карстоутво-

рення, викликане розробкою солі. Сумарна кількість NaCl у розсолах, які щорічно відкачуються тут, становить 28 тис. м^3 .

Карстова лійка, також карстова вирва – карстова западина, яка утворилася в результаті провалу склепіння підземної порожнини, що виникла при вилуговуванні гірських порід.

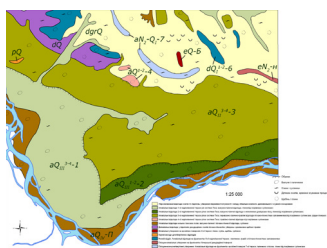
Мульда зсування (зрушення) земної поверхні – ділянка земної поверхні, де відбулося зрушення гірських порід під впливом гірничих розробок. Внаслідок порушення природної рівноваги в товщі порід, викликаній виїмкою, переміщення гірських порід в надрах здійснюється в бік виробленого простору. Утворюється зона зрушення, верхня частина якої і являє собою мульду просідання.

Соляний шток – вертикальне циліндричне тіло, яке складене сіллю і протікає вищезалеглі відклади.

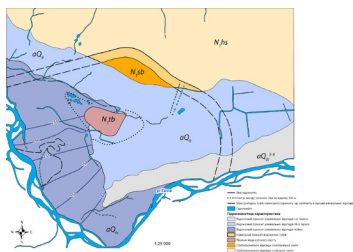
Комплексний аналіз матеріалів ДЗЗ, цифрової моделі рельєфу, різноманітних геологічних карт та результатів попередніх досліджень, дозволив встановити особливості карстових процесів та виділяти в межах території родовищ ділянки можливого розвитку в подальшому нових карстових просядок [21].



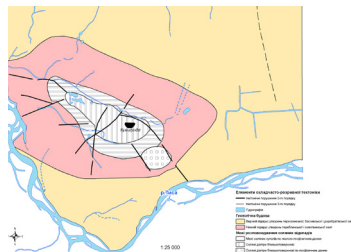
а



б



в



г

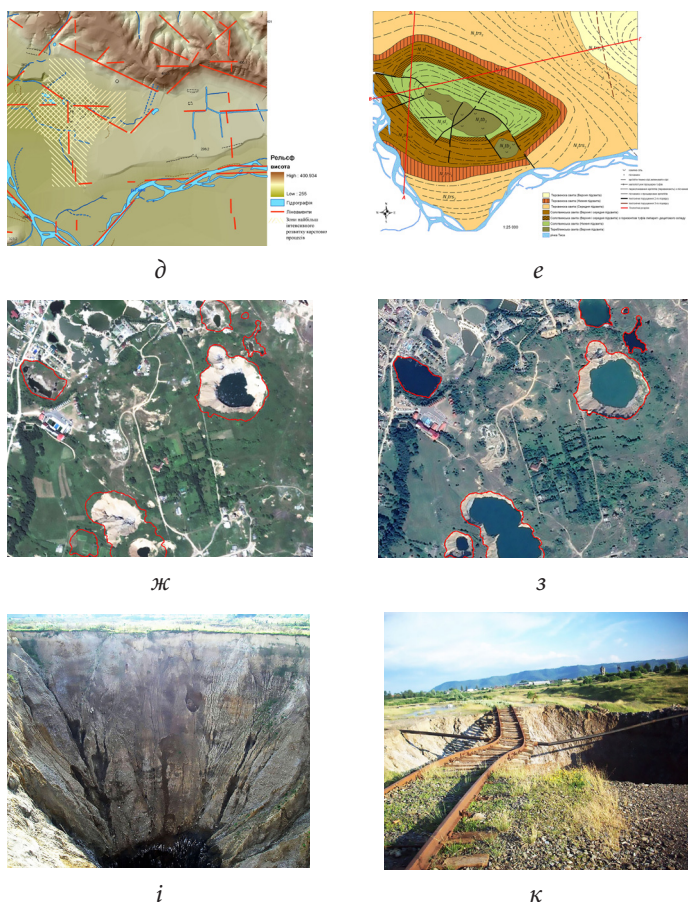


Рис. 4.39. Дослідження осідання земної поверхні над гірничими виробками у районі селища Солотвино Тячівського району Закарпатської області [21]: а — топографічна основа; б — карта корисних копалин четвертинного комплексу з елементами геоморфології; в — гідрогеологічна карта; г — карта меж залягання соляного тіла з елементами складчасто-розривної тектоніки; д — схема лінементів з зонами найбільш інтенсивного розвитку карстових процесів; е — геологічна карта; ж — карстові провалля/озера на космічних знімках з ресурсу Google Планета Земля (2012 рік); з — провалля/озера на космічних знімках з ресурсу Google Планета Земля (2017 рік); і — покинута шахта на території Солотвинського родовища солі [22]; к — карстова воронка, яка утворилася під залізничним полотном [23]

Список використаних джерел

1. Мичак А. Г., Філіпович В. Є., Приходько В. Л. та ін. Аерокосмічні дослідження геологічного середовища. — Мінприроди України. Державна геологічна служба. — К., 2010. — 246 с.
2. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / Под ред. В. И. Лялько и М. А. Попова. — К. : КарбонЛтд, 2012. — 436 с.
3. Кац Я. Г., Рябухин А. Г. Космическая геология. — М.: Просвещение, 1984. — 80 с.
4. Аерокосмічні дослідження геологічного середовища: Наук.метод. посіб. / А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько та ін. — К.: Мінприроди України, Держгеолслужба, 2010. — 246 с.
5. Геология и добыча полезных ископаемых [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.magnolia.com.ru/remotesensing/overview/geology/>.
6. Новітня розломно-блокова тектоніка Дніпровсько-Донецької западини / З. М. Товстюк, Т. А. Єфіменко, О. В. Титаренко, О. П. Головащук, І. В. Лазаренко // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2014. — № 2. — С. 4–13.
7. Виділення нафтогазоперспективних об'єктів у межах південно-східної прирозломної зони Дніпровсько-Донецької западини / З. М. Товстюк, О. В. Титаренко, Т. А. Єфіменко, І. В. Лазаренко // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2015. — № 5 — С. 23–26.
8. Дніпровсько-Донецька западина. Успадкованість розвитку структур, розломних зон і зон розущільнення / З. М. Товстюк, О. П. Головащук, І. В. Лазаренко // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2015. — № 5. — С. 27–32.
9. Неотектонічні дослідження за матеріалами дистанційного зондування Землі при пошуку структур перспективних на нафту та газ на прикладі Дніпровсько-Донецької западини / З. М. Товстюк, Т. А. Єфіменко // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2015. — № 6. — С. 8–13.
10. Товстюк З. М., Титаренко О. В., Єфіменко Т. А. Використання матеріалів космічних зйомок для вивчення неотектонічної будови Дніпровсько-Донецької западини при нафтогазопошукових дослідженнях : тези доповідей 14-ї Української конференції з космічних досліджень. — Ужгород : Інститут електронної фізики НАН України, 2014. — С. 188.

11. Оцінка нафтогазоперспективності ділянок Дніпровсько-Донецької западини на основі міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації // Сучасні методи дистанційного пошуку корисних копалин / за ред. В.І. Лялько, М. О. Попова — К., 2017. — 220 с.

12. Екзогенні геологічні процеси [Електронний ресурс] // Державна служба геології та надр України — Режим доступу до ресурсу: <http://www.geo.gov.ua/ekzogenni-geologichni-procesi/>.

13. Жирнов П. В. Інженерно-геоморфологічний аналіз правобережжя Канівського водосховища (на прикладі ключової ділянки «Київ-Ржищів») [Текст] : дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.04 «Геоморфологія та палеогеографія» / Жирнов Павло Володимирович; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. — К., 2012. — 212 с.

14. Готинян В. С., Макаренко А. Д., Томченко О. В., Рябенко Ю. М. Оперативний моніторинг процесів підтоплення засобами космічного знімання : матеріали регіональної наради «Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенні проблем Миколаївщини». — 2008. — С. 40–41.

15. Карст [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/Карст>.

16. Арістов М. В., Томченко О. В. Вивчення зсувів на території Тернопільської області дистанційними методами : матеріали регіональної наради «Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенні проблем Тернопільщини». — 2007. — С. 23–25.

17. Готинян В. С., Томченко О. В., Дедюх В. В. Супутниковий моніторинг небезпечних процесів Матеріали регіональної наради «Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенні проблем Харківщини». — 2009. — С. 62–64.

18. Абразія [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/Абразія>.

19. Ерозія [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ерозія>.

20. Готинян В. С., Томченко О. В., Яценко С. В. Можливості ГІС / ДЗЗ — технології для вивчення ерозійно небезпечних ділянок // Можливості сучасних ГІС / ДЗЗ — технологій у сприянні вирішення проблем Черкащини : матеріали регіональної наради (м. Черкаси, 29–30 червня 2006). — Черкаси, 2016 — С. 10.

21. Готинян В. С., Томченко О. В., Рябенко Ю. М., Добридень Л. Д. «Оцінка тенденцій прояву небезпечних природних процесів (на прикладі пів-

денної частини Тячівського району Закарпатської області) // Матеріали регіональної наради «Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенні проблем Закарпаття». — 2008. — С. 27–28.

22. Солотвино [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.wikiwand.com/uk/Солотвино>.

23. Прощай, Солотвино? [Електронний ресурс]. — 2008. — Режим доступу до ресурсу: <https://www.unian.ua/society/98995-proschay-solotvino-fotoreportaj.html>.

4.1.4. Ландшафтознавство та урбаністика

Впродовж своєї історії людина збільшує свій негативний вплив на географічну оболонку Землі. Людська діяльність змінює вигляд земної поверхні, зменшує відсоток природних та постійно збільшує кількість антропогенних ландшафтів.

ДЗЗ — це один з найперспективніших методів досліджень, який постійно еволюціонує разом з розвитком технологій. Ці методи застосовують у найрізноманітніших сферах, серед яких найпопулярнішим напрямком є картографічні дослідження в природничих науках. Обробка матеріалів мультиспектральної космічної зйомки місцевості дозволяє проводити екологічні дослідження в багатьох масштабах. Дрібномасштабні знімки з низькою розпізнавальною здатністю (в сотні метрів) використовуються при дослідженні динаміки розвитку міських агломерацій, особливостей розміщення ландшафтно-функціональних зон, напрямків впливу техногенних факторів на природне середовище. Великомасштабні знімки з високою розпізнавальною здатністю (до кількох сантиметрів) використовуються для вивчення окремих елементів міської структури, характеру впливу на навколишнє середовище екологічно небезпечних техногенних об'єктів [1].

У прикладних сферах дистанційного зондування застосовують гіперспектральні знімальні системи, які реєструють практично повний спектр відбитого в певній точці електромагнітного випромінювання. Це допомагає в автоматичному розпізнаванні типів землекористування та їх різновидів.

Просторовий розвиток є одним із пріоритетних напрямів для стратегічного планування розвитку міст та держав, в цілому. Методи дистанційного зондування Землі відкривають великі можливості в сфері суспільно-географічних досліджень, зокрема в питаннях вивчення особливостей просторового розвитку. Саме космічні знімки показують сучасний стан забудови, розвитку транспортної інфраструктури, рослинного покриву, землекористування та ін.

Таку популярність використання методів дистанційного зондування в дослідженнях можна пояснити легким доступом до даних, оскільки є ряд сайтів, з яких без особливих труднощів можна скачати космознімки території, яка вас цікавить.

В урбаністичних дослідженнях дані ДЗЗ використовують для:

- оновлення картографічної основи для картографування територій міст;
- проектування та планування розвитку територій;
- інвентаризація зелених насаджень, оцінка їх загальної площі, визначення перспектив озеленення чи очищення території від забруднень різного характеру;
- моніторинг дорожно-транспортної інфраструктури, зокрема побудова нових, реконструкція або модернізація існуючих транспортних магістралей, спираючись на дані про їхню завантаженість;
- моніторинг будівництва, визначення точних меж забудови;
- створення карт екологічного стану міст, у тому числі карт теплових аномалій тощо.

Найбільш актуальним та необхідним є використання ДЗЗ в регіонах, які швидко розбудовуються. Насамперед, це стосується столичного регіону та передмість великих обласних центрів, наприклад, Львів, Дніпро, Одеса, Харків, а також туристично привабливих, для України — це Моршин, Буковель, Трускавець, узбережжя Чорного та Азовського морів тощо.

При вивченні міських агломерацій із застосуванням космічних знімків можна дешифрувати такі процеси та явища, які важко локалізувати при наземних дослідженнях.

Трансформація островних ландшафтів заплави Дніпра

Берегова лінія Києва почала інтенсивно змінюватися останні 100 років через стрімке розростання міста та його перепланування. Картографування історичної реконструкції русла старого Дніпра було виконано за німецькими топографічними картами (<http://www.wwii-photos-maps.com>) та аерофотозйомкою часів Великої Вітчизняної війни (<http://warfly.ru>), що дозволило відобразити історичний вигляд русла Дніпра до утворення водосховища. Порівнявши ці матеріали з сучасними, отриманими на основі дешифрування актуальних космічних знімків з ресурсу Google Earth (рис. 4.40), було визначено трансформації заплави Дніпра, які відбулися внаслідок зарегулювання річки греблею Київської ГЕС [2].

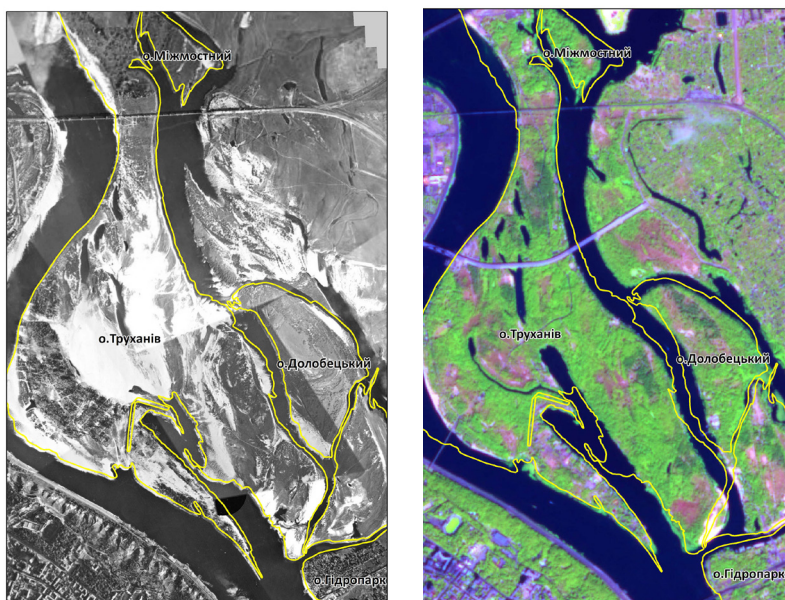


Рис. 4.40. Динаміка зміни площі київських островів за 75 років:
 а — аерофотозйомка 1942 р.; б — сучасний космічний знімок
 Sentinel-2 2017 р. [2]

Таким чином, за допомогою ГІС/ДЗЗ-технологій були створені векторні шари — контури берегової лінії київських островів станом на 1942 та 2017 рік та визначено площі островів (рис. 4.40, 4.41). Порівняння історичних карт та сучасних даних ДЗЗ дозволило обчислити зміни в площі київських островів за 75 років.

За допомогою ГІС/ДЗЗ-технологій встановлено суттєві зміни площі островів київського архіпелагу в період з 1942 р. до 2017 р. Визначено, що острови почали зменшуватись внаслідок антропогенних змін (намивання піску), що негативно вплинуло на стан їх біотопів.

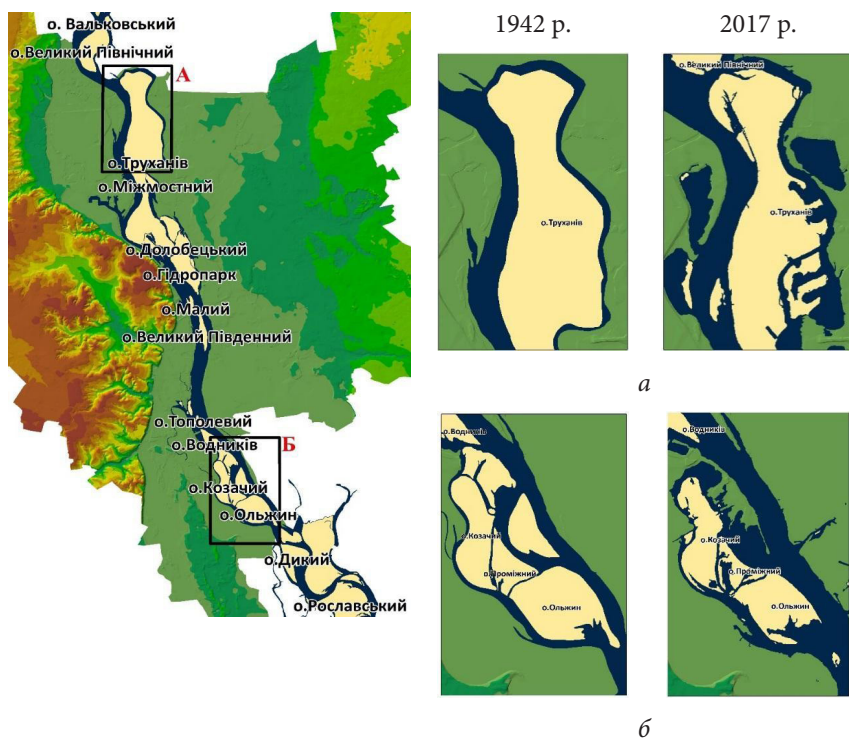


Рис. 4.41. Візуалізація історичної реконструкції трансформації заплави Дніпра в межах Києва. Вектор групи Київських островів накладений на рельєф у програмі ArcGis: а — приклад зміни острова Труханів; б — приклад зміни південних островів [3]

Моніторинг незаконного видобутку бурштину

В останні роки в Україні катастрофічно виріс незаконний видобуток бурштину. Найбільша активність спостерігається в межах Олевського і Овруцького районів Житомирської області, Рокитнівського, Дубровицького, Володимирецького, Зарічненського і Сарненського районів Рівненської області та Ратнівського і Любешівського районів Волинської області [4]. Тобто, бурштиною лихоманкою охоплена практично вся північно-західна частина України площею понад 14,6 тис. км².

Бурштин, або янтар, – природна органічна сполука, щільна та в'язка (скам'яніла) викопна смола хвойних дерев. Використовується для виготовлення ювелірних прикрас, у парфумерії, народній медицині та електриці.



Рис. 4.42. Наслідки нелегального видобутку бурштину на залісненій території

Незаконний видобуток бурштину здійснюється переважно по-повним методом, який полягає в розмиванні водою під великим тиском шару ґрунту на 6–10 метрів у глибину. Методика виявлення місць нелегального видобутку бурштину базується на спектральних та текстурних відмінностях цих місць від оточуючих, непошкоджених лісових і лісово-болотних ландшафтів.

Співставлення даних, отриманих при розрахунку часового ряду температурних зображень, та фільтрація зображень за спектральними характеристиками дозволяють з високою вірогідністю виявити процеси формування відвалів піску, що є індикатором видобутку бурштину. Частота оновлення даних, отриманих супутниками Landsat, складає 16 діб, що у разі відсутності хмарності на зображеннях дозволяє достатньо оперативно виявляти території з ознаками нелегального видобутку бурштину (рис. 4.43). На детальному рівні рекомендується застосовувати зображення з високою роздільною здатністю на місцевості від 0,5 до 2 м, приклади яких наведено на рис. 4.44. Розповсюдження «білих плям» чітко вказує на інтенсивні протизаконні дії з видобутку бурштину, які створюють загрозу екологічну ситуацію для флори і фауни регіону (рис. 4.45).

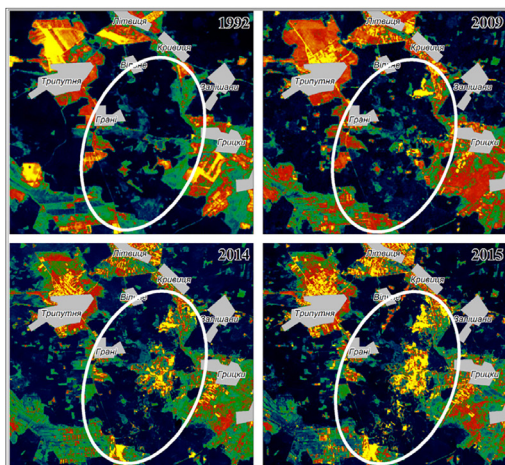


Рис. 4.43. Моніторинг територій нелегального видобутку бурштину на регіональному рівні. Рівненська область.

Білим кольором окреслена ділянка приросту площ незаконного видобутку протягом 1992–2015 рр. [5]

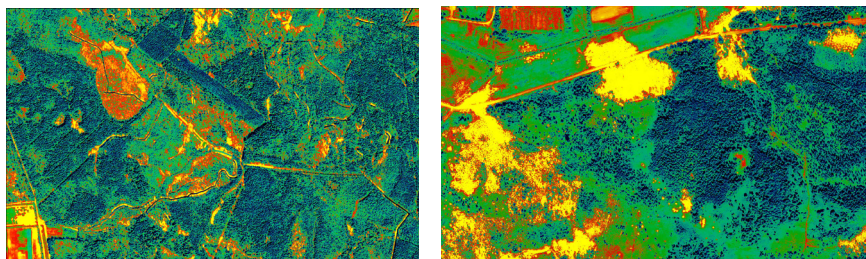


Рис. 4.44. Виявлення місць незаконного видобутку бурштину на локальному рівні: *а* — фіксація ділянок нелегального видобутку бурштину у лісових масивах біля населених пунктів Жовкині — Дубівка (Володимирецький район Рівненська область); *б* — в районі смт Володимирець — с. Дубівка (Дубровицький район, Рівненська область)

Запропонована ГІС на детальному рівні (масштаби робіт від 1 : 2 500 до 1 : 10 000) дозволяє не тільки картувати в напівавтоматичному режимі порушені землі, а й визначати у кількісному відношенні нанесені державі збитки [6].

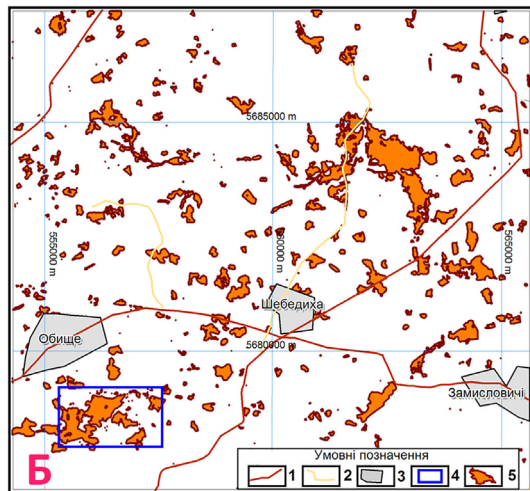


Рис. 4.45. Карта порушеного ґрунтового-рослинного покриву Олевського району Житомирської області на ділянці «Обище — Шебедиха». Складено на основі цифрової обробки супутникових даних Spot 6, 7 (Франція). Масштаб оригіналу М 1 : 10 000. Площі концентрації нелегального видобутку бурштину і порушення земель станом на 28 березня 2016 р.

Умовні позначення:

- Дороги: 1 — з твердим покриттям, 2 — ґрунтові,
3 — населені пункти, 4 — тестова ділянка визначення
заподіяної шкоди, 5 — порушені землі

Антропогенна зміна берегової лінії водойм

Рис. 4.46. Фото гідронамиву нового острова [7]

Дубай відомий багатьма речами, зробленими вперше у світі. Один із чудесних прикладів — це серія штучних архіпелагів у смарагдових водах Арабської затоки. Рукотворні архіпелаги стали візитною картою ОАЕ. Будівництво островів коштувало муніципалітету міста дуже дорого, але грандіозні капіталовкладення окупилися з лишком. Берегова лінія Дубаю збільшилася на цілих 520 кілометрів.

Першим штучним островом в акваторії Перської затоки став острів Вітрило в Дубаї. Одним з найвідоміших штучних островів стали Острови Пальм також поблизу узбережжя Дубаю — це три острови у формі фінікової пальми: Пальма Джумейра, Пальма Джебель Алі, Пальма Дейра.

Одним з найбільших проєктів ОАЕ стало будівництво в Дубаї архіпелагу «Світ» (The World) — близько трьохсот островів, які повторюють континенти Землі. В подальшому планується збільшити архіпелаг «Світ» шляхом створення нових островів за проєктом «Всесвіт» (The Universe).

Проєкт намиву рукотворного архіпелагу був справжнім викликом людини силам природи. Материковий пісок, якого так багато в Об'єднаних Арабських Еміратах, не годився. У нього не було

потрібної в'язкості. Тому спеціальні драги-черпали — плавучі технологічні установки з видобувним та збагачувальним устаткуванням, за допомогою яких з-під шару води на дні затоки видобували морський пісок, укладали його у вигляді пальми, а пізніше вібромашини утрамбовували його до стану твердого ґрунту, щоб шторми не зруйнували і не підмили насипні береги.

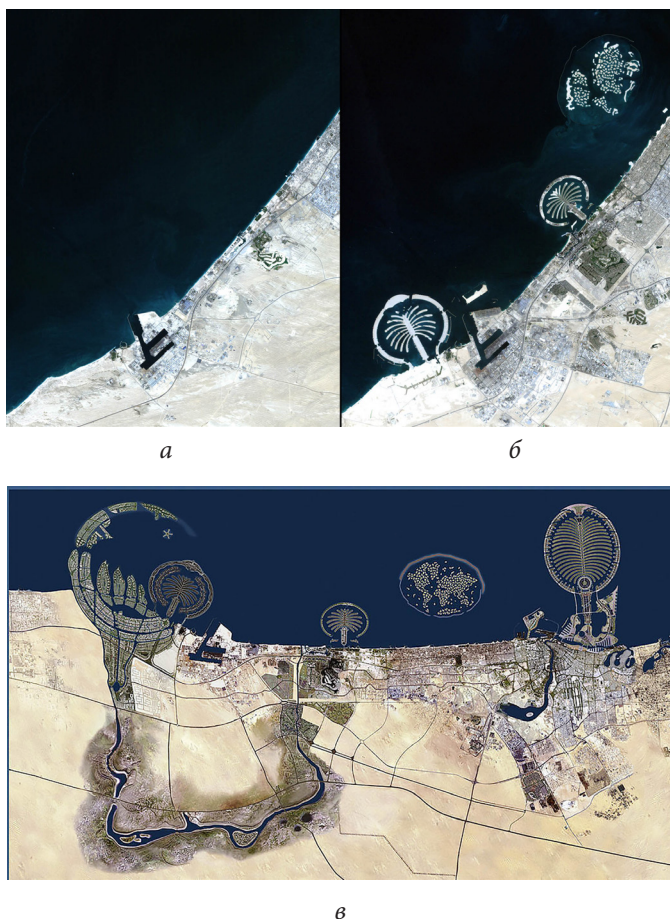


Рис. 4.47. Штучні острови узбережжя Об'єднаних Арабських Еміратів на космічних знімках Landsat (а — станом на 2001 р., б — станом на 2012 р.) [8] та майбутні ідеї будівництва, проектний оглядовий вид (в) [9]

Антропогенний вплив на приміські ландшафти

Пісок, добутий із дніпровських островів, найчастіше використовують для намівання житлових масивів. Ця практика з'явилася в кінці 70-х років 20 століття, коли було розпочато намівання житлових масивів «Оболонь» та «Троєщина». У 1970-х роках було розпочато намів Оболоні, для цього було підняти рівень ґрунту шляхом наміву, а з 1981 року — інженерна підготовка забудови Троєщини — гідронамів та спорудження першої черги масиву. Цей процес ми можемо наочно продемонструвати на архівних космічних знімках Landsat (рис. 4.48). Для забудови житлових масивів «Оболонь» та «Троєщина» було використано пісок з північної групи островів (Великий Північний, Труханів та ін.). Ділянки намівання піску перед житловим будівництвом у вигляді білих плям можна чітко простежити на архівних космічних знімках (рис. 4.48, а).

Також на космічних знімках можна простежити динаміку утворення водойми штучного походження — Алмазного озера — одного з найбільш забруднених в м. Києві. Воно розташоване на північ від Лісового масиву і на схід від масиву Вигурівщина-Троєщина у Деснянському районі Києва. Одне з найбільших і найглибших озер м. Києва. Глибина досягає 35 метрів.

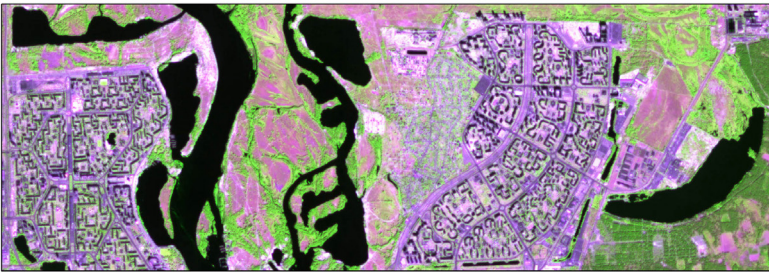
Озеро виникло у першій половині 1980-х років на місці невеликого торф'яного болота у зв'язку із намівом піску для будівництва житлового масиву Вигурівщина-Троєщина. В сучасних розмірах з 1993 року. Відтак озеро є колишнім кар'єром, затопленим водою.



а



б



в

Рис. 4.48. Будівництво житлового масиву Троєщина на космічних знімках Landsat: а — 1985 р.; б — 2000 р.; в — 2017 р. [3]

Візуалізація антропогенного навантаження мегаполіса

ГІС-моделювання — це сучасний термін, під яким розуміють модельне відображення певної території у вигляді карт, схем, космодетальних аерознімків у поєднанні з будь-якою інформацією табличного типу, використовуючи картографічний метод дослідження — вивчення взаємозв'язків (аналіз явищ як системи). Виконати такий аналіз простіше, якщо хоч би одну з характеристик, що змінюються в просторі, вважати рівномірно розподіленою і на її фоні аналізувати усі інші з нею взаємозв'язані. Для цієї мети можна використовувати трансформацію зображення. Під терміном трансформація розумітимемо перехід від картографічного зображення, в основу якого, як правило, покладена топографічна метрика земної поверхні, до іншого зображення, в основі якого — метрика явища, що картографується. Такі трансформовані зображення

називають — **анаморфози**. Іншими словами анаморфоза — це трансформоване зображення, в основу трансформації якого покладено певний показник чи коефіцієнт [10].

Як приклад застосування ГІС-моделювання антропогенного навантаження на міські агломерації розглянемо екологічні зміни, що відбуваються в м. Києві за 30-річний період з використанням даних ДЗЗ і наземних спостережень. Також нижче наведено приклад картографічного відображення поєднання інформації наземних статистичних досліджень стану довкілля м. Києва та результатів дешифрування космічних знімків для визначення площ складових урболандшафту (рис. 4.49).

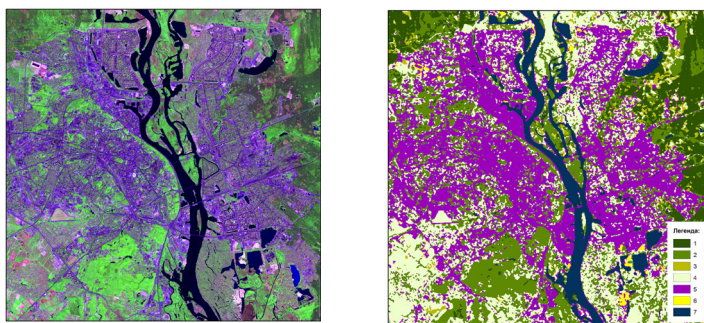


Рис. 4.49. Використання даних дистанційного зондування Землі для виділення складових урболандшафту м.Києва:
а — K3 Landsat 8 (дата 24.05.2015); б — карта урболандшафту
(1 — хвойні насадження; 2 — листяні насадження; 3 — дерев'янисто-чагарникові насадження; 4 — трав'яниста рослинність і сільськогосподарські угіддя; 5 — селітебна територія (будівлі та дороги); 6 — піщані масиви і кар'єри; 7 — водні об'єкти) [10].

На рис. 4.50 наведено один з варіантів відображення тематичної інформації про населеність міста Києва та стан якості повітря, який в поєднанні з діаграмами відображає структуру складових урболандшафтами за районами. Також на рис. 4.50 наочно представлено кореляційну залежність між площею зелених насаджень за районами і кількістю викидів NO_2 (діоксиду азоту) в повітрі (середні показники за серпень 2015), коефіцієнт кореляції стано-

вить 0,73, що підтверджує їх обернено пропорційну залежність. Таким чином, наочно можна констатувати, що найбільш зеленим є Голосіївський район міста, в якому спостерігається найменша забрудненість повітря і невелика кількість населення.

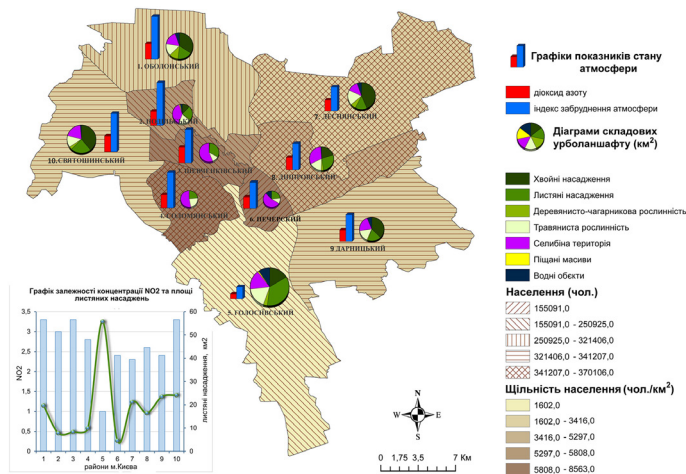


Рис. 4.50. Карта техногенного навантаження м. Києва [11]

Для порівняння антропогенного навантаження мегаполісу спочатку було створено класичні карти (рис. 4.51, а і б), що відображають забудовану територію та площу зелених насаджень міста Києва (у відсотках від загальної площі району) на основі матеріалів ДЗЗ.

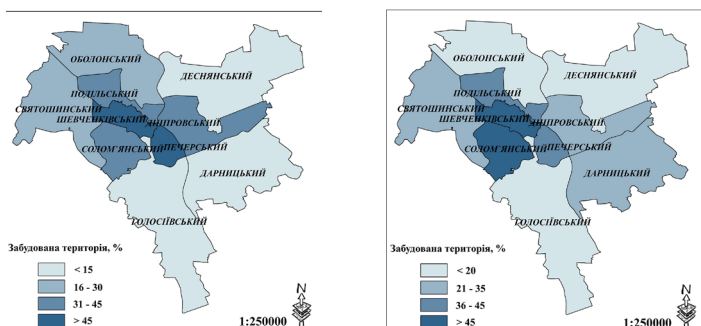


Рис. 4.51. Карти розподілу забудови м. Києва за районами станом на: а — 11.07.1989; б — 06.08.2013

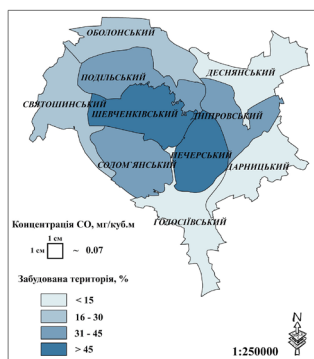


Рис. 4.52. Карти-анаморфози розподілу забудови м. Києва за районами станом на: а — 11.07.1989; б — 06.08.2013

Далі в ході роботи отримано два типи карт-анаморфозів, що наведені на рис. 4.52 та 4.54. Так, на рис. 4.52 представлено ан-аморфовані зображення, в яких для анаморфування використано показник концентрації СО у повітрі мг/куб. м (показник — розмір об'єкта) та відсоток забудови території міста Києва (показник — градієнт кольору). А на рис. 4.54 наведено анаморфовані зображення, в яких для анаморфування використано площу забудованої території у відсотках (показник — розмір об'єкта) та площу зелених насаджень міста Києва у відсотках від загальної площі району (показник — градієнт кольору).

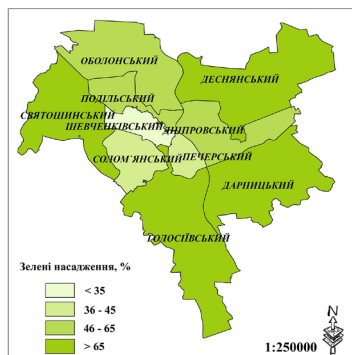
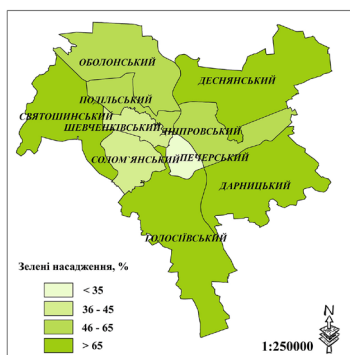


Рис. 4.53. Карти розподілу зелених насаджень м. Києва за районами станом на: а — 11.07.1989, б — 06.08.2013

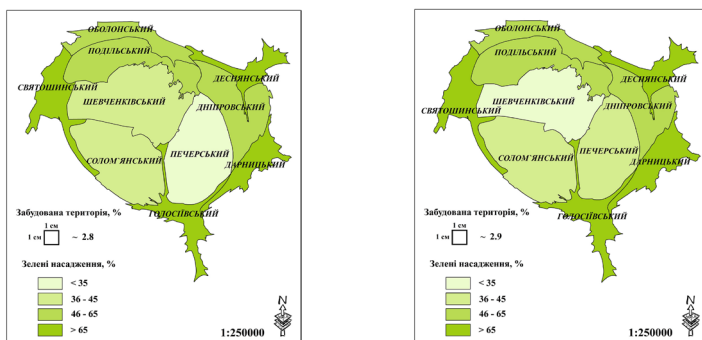


Рис. 4.54. Карти-анаморфози розподілу зелених насаджень м. Києва за районами станом на: а — 11.07.1989; б — 06.08.2013

Теплові аномалії міста Києва за супутниковими даними

Космічні знімки фіксують підвищення температури повітря в місті Києві за останні 80 років. На рис. 4.55 показана температурна карта Києва за даними Landsat-8 на 31 липня 2014 р. (Станкевич та ін., 2015), яка демонструє, що більша територія міста має температуру вище 30°C . За даними Центру аерокосмічних досліджень Землі, знімки літніх місяців, а саме липня — серпня з 1985 по 2014 р. показують, що кожного року в центральних районах міста температура підвищується на $0,08^{\circ}$ [12].

Громадська організація «Український екологічний клуб «Зелена Хвиля» та науковці Києво-Могилянської академії і Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі, використовуючи знімки супутника Landsat за 2013–2015 роки, дослідили ландшафт Києва на предмет теплового забруднення та пов'язали результати свого дослідження з озелененням території. За державними будівельними нормами в житлових районах зелена частина має складати не менше 25% [12].

Результати показали, що найбільш «гарячими» є райони житлових масивів та промислові зони. Найбільші показники тепла мали Троєщина (10–15% озеленення) та Позняки (0,10% озеленення), в той час як найменші — райони з найбільшим рівнем озеленення та водними об'єктами — такі як Голосіївський, Борщагівка, Сирець та інші (від 20 до 40% озеленення).

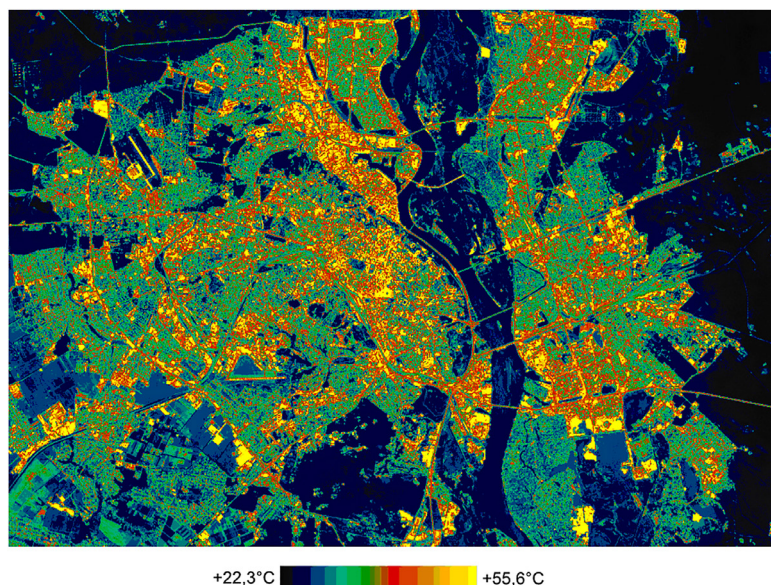


Рис. 4.55. Температура окремих районів Києва за даними Landsat-8 на 31 липня 2014 р. (Станкевич та ін., 2015)

Зйомка Києва із дронів показала, що дерева найкраще забезпечують прохолоду в місті, значно краще, ніж газони та клумби (див. рис. 4.56). Їх поверхня не прогривається більше ніж на 25 °С [12]. І це варто враховувати при міському плануванні.

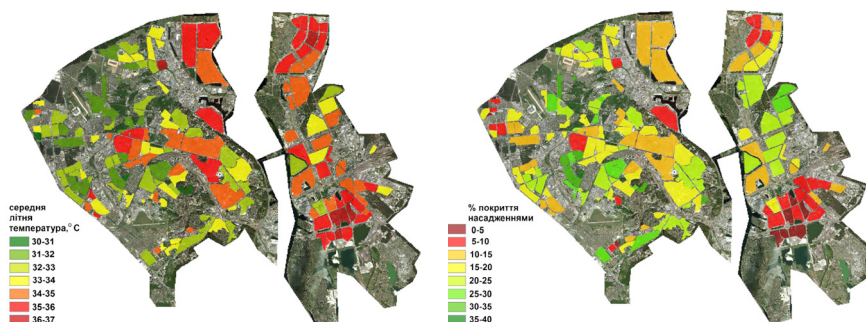


Рис. 4.56. Взаємозалежність між середньою літньою температурою (а) та відсоток покриття насадженнями (б) [12]

Оскільки саме міста є найбільшими забруднювачами атмосфери, відповідальність за зміну клімату, в першу чергу, покладається на них. Існує велика кількість кліматичних організацій та фондів, які підтримують міста в їх прагненні адаптуватись до змін клімату, але Київ не використовує цю можливість.

Дослідження впливу міських насаджень на клімат в містах України

Будь-який населений пункт можна порівняти з живим організмом, який росте і розвивається. Особливо найбільші темпи розвитку прослідковуються в містах через постійний приток людей з області, а у випадку міста Києва — з усієї України. Через постійне збільшення кількості населення виникає потреба в зміні інфраструктури, але як при тому зберігати баланс впливу зелених зон міста на його екологічний стан?

В 2018 році команда українських вчених з Києво-Могилянської академії, Центру аерокосмічних досліджень, Інституту ботаніки та Інституту біохімії НАН України та фахівці компанії DroneUA отримали грант від National Geographic для проведення досліджень впливу міських зелених насаджень на клімат в містах України (рис. 4.57) [13]. National Geographic підтримав проект українців з метою розробити наукову основу для стратегічного планування адаптації міських зелених зон до зміни клімату в містах України, а також інших країн Східної Європи.

Дане дослідження є продовженням попереднього, описаного в цьому блоці проекту по дослідженню теплових аномалій міста Києва за супутниковими даними. Тоді вдалося виконати ряд наземних досліджень, зібрати інформацію за допомогою дронів і супутникових карт. Але результати були отримані тільки для невеликої території, центральних паркових зон. Нинішній проект з National Geographic — це продовження досліджень із збільшенням масштабів — тепер це територія всього Києва..



Рис. 4.57. Емблема проекту від National Geographic з дослідження впливу міських насаджень на клімат в містах України

Населення міст України мало задумується над негативними наслідками зміни клімату, які проявляються в житлових зонах. В цілому в Україні є проблема відсутності системних даних про рух CO_2 у великих містах і передмістях, які можуть бути корисні при оцінці викидів. Концепція Smart City, яка успішно застосовується в різних містах світу, передбачає використання інноваційних технологій, для оперативного прийняття оптимальних рішень на основі великої кількості даних. В Україні ж не існує ніякої бази даних для прийняття рішень місцевими органами влади.

Метою проекту є точно визначити, як розмір і густота рослин впливають на зниження «хвиль тепла» в різних населених пунктах і містах. Учасники проекту будуть вивчати системний вплив міських зелених насаджень на формування мікроклімату, а саме зміни температурних показників, вологості, концентрації CO_2 в житлових районах Києва з використанням методів ДЗЗ: теплового картографування з дронів, обробки і класифікації даних оптичних і теплових знімків, отриманих із супутників тощо [13].

Очікуваним результатом досліджень є визначення конкретних видів дерев, котрі найбільш ефективні для використання в озеле-

ненні міст, а також розроблення рекомендацій по плануванню посадок видів, щільності насаджень, типів озеленення і т. д. Отримані результати в майбутньому можуть також бути застосовані на території інших міст Східної Європи.

Моніторинг штучного освітлення Землі з космосу

Група вчених детально вивчила цілу купу знімків нічної Землі, зроблених у період з 2012 по 2016 роки. Їх було зроблено із супутника НАСА, обладнаного спеціальним прибором — радіометром. Цей пристрій вимірює яскравість нічного освітлення. Результат їхнього дослідження показав: штучно освітлена площа планети збільшувалася на 2% щороку та ці темпи продовжують зростати. Лише в двох країнах кількість освітлення зменшилась — це охоплені війною Ємен та Сирія.

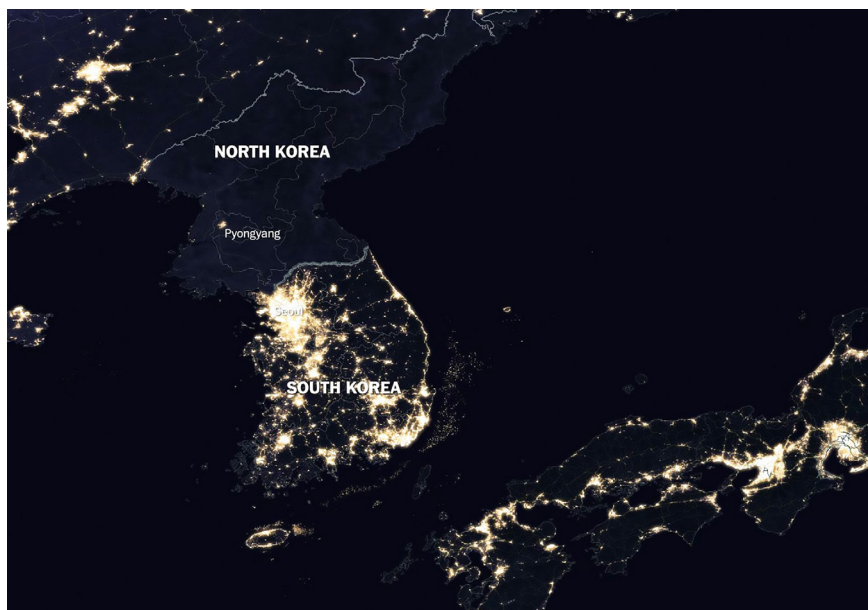


Рис. 4.58. Супутникове фото штучного освітлення в КНДР та Південній Кореї, яке ілюструє зв'язок між нічним освітленням та економічною активністю країн (NASA/The Washington Post) [14]

Журнал «Nature» в 2017 році оприлюднив статтю, де стверджувалось, що штучне освітлення становить загрозу для опилення врожаю нічними комахами [15]. Дослідження, проведене у Великій Британії, показало, що в місцях зі штучним освітленням дерева випускають бруньки на тиждень раніше, ніж там, де його немає. А також штучне освітлення сильно змінює поведінку птахів, які звикли мігрувати вночі [16].

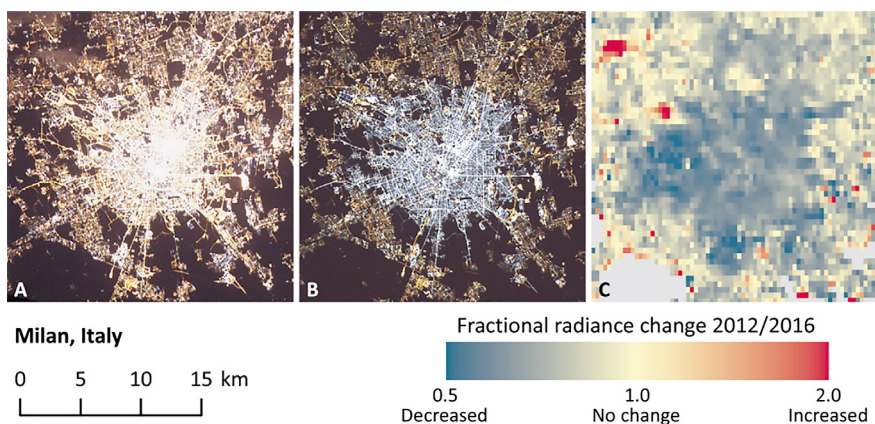


Рис. 4.59. Зміни у вуличному освітленні в Мілані (Італія) за космічними знімками з 2012 (А) та 2015 (В) [17]

Доктор К'юба зауважує, що якість освітлення залежить не стільки від його кількості, скільки від контрасту. Зменшуючи контраст надворі та уникаючи засліплюючих ламп, можливо покращити видимість при меншому освітленні. Крім того, такий підхід може заощаджувати енергію. Але, за даними вчених, у світовому масштабі не прослідковуються такі зміни.

На YouTube-каналі NASA можна подивитися відео — www.youtube.com/watch?v=8dc58ZrOuck Сяння світла людської діяльності на космічних знімках нашої планети вночі.

Такий нічний погляд на нашу планету дозволяє вченим досліджувати, як розширюються міста, контролювати інтенсивність світла, щоб оцінювати енергоспоживання та енергоефективність освітлення тощо.

Оцінка урбанізації в містах з використанням зображень нічного космічного знімання

Наводимо приклад можливості використання супутникових зображень для оцінки розвитку міст України. Безпосередньо об'єктом досліджень були території міст обласного підпорядкування. У якості показника інтенсивності розвитку міст була використана сумарна інтенсивність освітлення території у нічний час.

Методика визначення інтенсивності розвитку міст та їх диференціація проводилась наступним чином. Кількісним критерієм, що характеризує просторову концентрацію населення, а відповідно економічну активність території був запропонований кількісний показник сумарної інтенсивності освітлення (СІО) [18–20]. СІО — це сума значень освітленості всіх пікселів по території кожного міста. Використання СІО дозволило проаналізувати розподіл нічного освітлення територій міст та зіставити з показниками щільності населення та її економічного розвитку.

Супутник DMSP/OLS дозволяє отримувати нічні зображення земної поверхні у видимому діапазоні спектра з просторовою розрізненістю 900 метрів [21]. Для дослідження було використано архів даних з 1992 по 2012 рр. Дані дослідження дозволили в умовах України виділити міста-«домінанти», внесок яких в сумарне нічне освітлення області є досить великим (рис. 4.60, табл. 4.2).

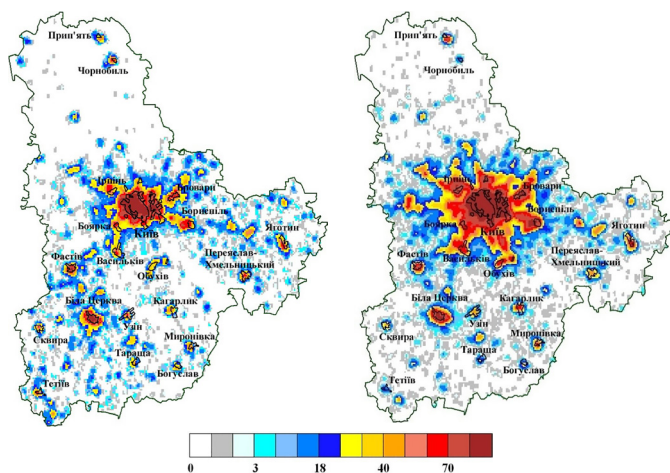


Рис. 4.60.
Зміна показника нічної освітленості СІО за 1992 та 2012 рік на території Київської області:
а — 1992 р.;
б — 2012 р.

Таблиця 4.2. Характеристика міст
за показником сумарної інтенсивності нічного освітлення СІО
Ранжування обласних центрів
за рівнем інтенсивності розвитку протягом 1992–2012 рр.

Номер групи	Середнє значення СІО	Назви міст
I	$>20 \cdot 10^3$	Київ, Дніпро, Харків, Одеса, Донецьк, Запоріжжя, Миколаїв, Львів
II	від $10 \cdot 10^3$ до $20 \cdot 10^3$	Луганськ, Сімферополь, Полтава, Чернівці, Вінниця, Суми, Рівне, Кропивницький, Житомир, Херсон
III	$<10 \cdot 10^3$	Черкаси, Івано-Франківськ, Луцьк, Хмельницький, Чернігів, Тернопіль, Ужгород

Міста «домінанти» були виявлені, на підставі ранжування показника внеску міста в сумарну освітленість території області на основі даних освітленості за 2012 р. Отримані результати показали, що в Україні такі міста не обов'язково мають бути агломеративними центрами, а досить їм бути єдиним продуктивним містом в межах адміністративної області, що характеризує негативну економічну тенденцію. Українські міста «домінанти»: Київ (53,46%), Одеса (47,06%), Миколаїв (42,30%), Рівне (42,14%), Чернівці (39,14%), Харків (38,02%), Луцьк (37,46%), Херсон (36,75%), Львів (36,27%).

Таким чином, супутникова інформація про нічне освітлення може бути використана в якості незалежного джерела даних про інтенсивність соціоекономічного стану міст. Та дозволяє простежити зміну нічного освітлення територій та визначити рейтинг міст за рівнем розвитку.

Базуючись на аналізі матеріалів нічної інфрачервоної зйомки за 2014–2016 рр., яку було проведено за допомогою сенсора Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), встановленого на супутнику Suomi NPP, отримано оцінки змін економічної ситуації на тимчасово непідконтрольних територіях Донецької та Луганської областей, що перебувають у зоні збройного конфлікту. Ці оцінки базуються на тому відомому факті, що одним з показників економічної активності є рівень споживаної електроенергії, який, у свою чергу, можна оцінити через світність території [22].

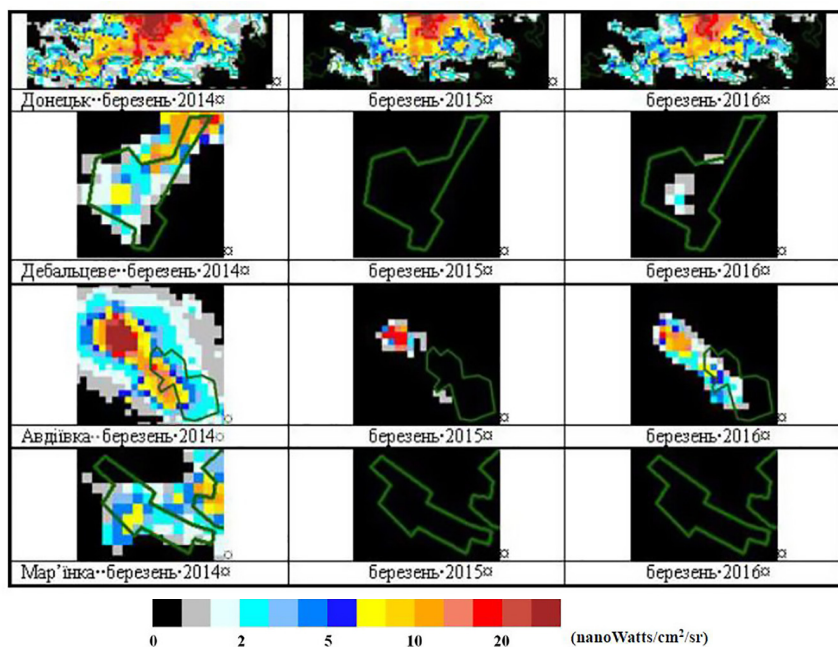


Рис. 4.61. Нічні знімки з супутника NPP/VIIIRS міст Донецької області за березень 2014, 2015, 2016 років [23]

Аналіз зазначених матеріалів дозволив зробити висновок про те, що економічна активність на Сході України для окупованих частин Донецької та Луганської областей навесні 2016 року становила 54% від рівня березня 2014-го. Отримані оцінки дозволяють скласти уявлення про збитки, що їх зазнала економіка регіону в результаті воєнного конфлікту, а також можуть слугувати орієнтирами при плануванні майбутніх заходів щодо відновлення регіону.

Враховуючи, що воєнний фактор значною мірою обмежує можливості наземного моніторингу стану навколишнього середовища, виникає необхідність використання можливостей технологій ДЗЗ і засобів математичного моделювання при вирішенні прогностичних завдань та обґрунтуванні першочергових захисних заходів.

Список використаних джерел

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В. І. Лялька та М. О. Попова. — К. : Наукова думка, 2006. — 360 с.

2. Малець О. А., Мазуркевич Л. О., Томченко О. В. Дослідження динаміки змін берегової лінії островів Дніпра в межах Києва (на прикладі острова Великий Північний) // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія / Київський національний університет імені Тараса Шевченка. — К. : Київський університет, — Випуск 1 (66) / 2 (67), 2017. — С. 84–88.

3. Томченко О. В., Підлісецька І. О., Мазуркевич Л. О., Малець О. А. Необхідність збереження дніпровський островів як соціальний проєкт для міста Києва // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія / Київський національний університет імені Тараса Шевченка. — К. : Київський університет. — 2018 (у друці).

4. Філіпович В. Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків, заподіяних державі за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В. Є. Філіпович // Екологічна безпека та природокористування. — 2015. — Вип. 20 (4) — С. 91–97. ISBN 978–966–2633–26–9.

5. Філіпович В. Є. Модернізація методики і технології оцінки шкоди, нанесеної державі внаслідок нелегального видобутку бурштину на основі космічного моніторингу земельних ресурсів (на прикладі Олевського району Житомирської області) // В. Є. Філіпович, Р. М. Шевчук. Український журнал дистанційного зондування Землі, 11 (2016). — С. 15–21. Online ISSN: 2313–2132.

6. Філіпович В. Є. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В. Є. Філіпович, Г. Б. Крилова, Лубський М. С. // Збірник наукових праць 14 Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» 5–9 жовтня 2015 р., м. Київ, Пуща-Водиця. — С. 181–198 ISBN: 978–966–7166–34–2.

7. Искусственные острова в Дубае [Електронний ресурс]. — 2012. — Режим доступу до ресурсу: <http://loveopium.ru/aziya/world-islands.html>.

8. Artificial islands, United Arab Emirates [Електронний ресурс] // Images of Change — Режим доступу до ресурсу: <https://climate.nasa.gov/images-of-change?id=467#467-artificial-islands-united-arab-emirates>.

9. Cities From The Sky — Dubaï, Émirats Arabes Unis. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.fubiz.net/2014/01/23/cities-from-the-sky/cities-from-above-2/>.

10. Мацепура М. В., Хижняк А. В., Томченко О. В. ГІС-моделювання антропогенного навантаження мегаполісу // Геоінформаційні технології у територіальному управлінні: матеріали II міжнар. наук.-практ. конфер. 17–18 вересня 2015 р. — Одеса : ОРІДУ НАДУ, 2015. — С. 69–69.

11. Хижняк А. В., Томченко О. В. Экологическое картографирование г. Киева // XII Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Наука и образование — 2017». (Казахстан, Астана, 14 апреля 2017). Астана, 2017. — С. 6584–6587.

12. Адаптація до зміни клімату: зелені зони міст на варті прохолоди [Електронний ресурс]. — 2016. — Режим доступу до ресурсу: https://drive.google.com/file/d/0Bw234je_MV-NcVdIS25ldEJhdE/view.

13. DroneUA в проекте National Geographic [Електронний ресурс] // DroneUA. — 2018. — Режим доступу до ресурсу: <http://drone.ua/droneua-v-proekte-national-geographic/>.

14. Ingraham C. Satellite data strongly suggests that China, Russia and other authoritarian countries are fudging their GDP reports [Електронний ресурс] / Christopher Ingraham // Washingtonpost. — 2018. — Режим доступу до ресурсу: www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2018/05/15/satellite-data-strongly-suggests-that-china-russia-and-other-authoritarian-countries-are-fudging-their-gdp-reports/?noredirect=on&utm_term=.c7de72c4f56e.

15. Artificial light at night as a new threat to pollination [Електронний ресурс] / [Е. Кноп, L. Zoller, R. Ryser та ін.] // Nature. — 2017. — Режим доступу до ресурсу: www.nature.com/articles/nature23288.

16. Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom [Електронний ресурс] / [R. Somers-Yeates, J. Bennie, R. H. ffrench-Constant та ін.] // The Royal Society. — 2016. — Режим доступу до ресурсу: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/283/1833/20160813>.

17. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent [Електронний ресурс] / [С. Kyba, T. Kuester, A. Sánchez de Miguel та ін.] // Science Advances. — 2017. — Режим доступу до ресурсу: <http://advances.sciencemag.org/content/3/11/e1701528>.

18. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А., Ходоровський А.Я. Оцінка стану та змін загального соціально-економічного розвитку України за період 1992–2012 роки на основі використання матеріалів зйомок космічного апарату DMSP / OLS (США) про нічну освітленість території // Доповіді НАН України. — 2018 (в друці).

19. Лялько В.І., Апостолов О.А., Єлістратова Л.О., Ходоровський А.Я. Оцінка соціально-економічного розвитку областей України за роки незалежності на підставі даних супутника DMSP/OLS (США) про нічне освітлення території // Український журнал дистанційного зондування Землі, № 16. 2018. — С. 4–12. — Режим доступу до ресурсу: <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/121/138>.

20. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А., Сахацький О.І. Використання космічних знімків NPP/VIIRS у нічний час для оцінки економічної кризи на сході України (Донецька та Луганська області) // Вісн. НАН України. — 2017. — № 2. — С. 48–53.

21. NOAA: National Centers for Environmental Information. Data Download. [Електронний ресурс]. — Електрон. дані — Режим доступу: <https://ngdc.noaa.gov/eog/index.html>.

22. Лялько В.І., Попов М.О. Досліджуючи землю: перемоги й біди українського космосу. — К.: Дзеркало тижня, № 34, 2017.

23. Оцінка змін загального соціально-економічного розвитку України за роки незалежності на основі матеріалів космічних зйомок [Електронний ресурс] / В.І. Лялько, Л.О. Єлістратова, О.А. Апостолов, О.А. Ходоровський // НАН України. — 2018. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.casre.kiev.ua/images/articles/general-meeting-nasu-april-2018/presentation.pdf>.

4.2. Екологія та аграрні науки

Екологія — наука, що вивчає закономірності взаємовідносин організмів з довкіллям, а також організацію і функціонування надорганізмових систем (популяцій, видів, біоценозів, біосфери). Наукові розвідки, які представляють інтерес для екології, включають біорізноманіття, поширення організмів, біомаса та популяції організмів, а також співпрацю, симбіоз та конкуренцію в межах та між видами. Екологія вивчає екосистеми — динамічно взаємодіючі системи організмів і неживі компоненти

середовища їхнього існування. Аграрні науки виділяють через ознаку особливої зацікавленості в них з боку людини. Так, важко уявити життя сучасної людини без такої важливої галузі промисловості як агропромисловий комплекс (з усіма його компонентами). Проте діяльність цієї галузі у ХХІ столітті уже неможливо розглядати без екологічного аспекту, оскільки вплив людини на екосистеми в деяких випадках має безповоротні, руйнівні наслідки.

4.2.1. Лісознавство

Лісознавство – це сукупність знань про видовий склад лісу, лісові рослини угруповання та середовище, в якому зростають рослини в лісі [1].

Улітку 2017 року на території природного заповідника «Древлянський» на півночі Житомирської області, як і у всьому Поліссі, катастрофічно збільшилася кількість **осередків усихання дерев**, уражених жуком **верхівковим короїдом**. Назва заповідника походить від назви східно-слов'янського племені «древляни, деревляни», що проживали на цій території, і яких пізніше стали називати поліщуки. Етимологія обох назв — дерево, ліс. Цей заповідник створили для збереження унікальних лісових і водно-болотних угідь Українського Полісся, а також вивчення змін екосистем під впливом природних та антропогенних факторів. Значна частина лісів заповідника була сильно забруднена радіонуклідами унаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції та потрапила до зони безумовного відселення, тому вплив людини з часу катастрофи був мінімальний [2]. Загалом кількість осередків сосни, ураженої верхівковим короїдом на території заповідника, сягала тисячі.

Назву «верхівковий» дали цьому жуку саме через те, що він заселяє дерево з верхівки крони та за 6–8 тижнів завдає такої шкоди дереву, що воно відмирає. Наземні методи обстеження неефективні, оскільки складно обстежувати верхівку крони знизу, а також тому, що регулярне наземне обстеження вимагає значних витрат. У такому випадку супутникова

чи аерофотозйомка мають багато переваг, оскільки дозволяють охоплювати велику територію одразу з усіма важкодоступними, болотистими місцями та аналізувати стан дерев з певним інтервалом часу.

Одними з перших дослідників, які почали у 1930-х роках застосовувати аерофотографії для вивчення лісів, були S. H. Spurr, S. T. B. Losee, H. E. Seely, що працювали у США та Канаді. Так, наприклад, у 1942 році H. E. Seely надрукував статтю з методикою визначення висоти дерев за тінню на аерофотознімках [3]. «Жоден із природних ресурсів (з-поміж яких ґрунт, ліс, корисні копалини та водопостачання) не пристосований до методів аерофотозйомки краще, ніж ліс... обстеження лісових масивів ніколи не повинні виконуватися без застосування переваг аерофотозйомки», писав Seely [4]. Так, дані ДЗЗ почали широко використовуватися для управління лісовими ресурсами, що однак здебільшого полягає в оцінці лісозаготівлі, тобто площ та обсягів деревини з урахуванням видового складу дерев [5].

Із розвитком супутникової **мультиспектральної зйомки** (зйомка у різних спектральних діагонах) постали нові методи інвентаризації лісів із включенням інформації про здоров'я рослинності, біорізноманіття, пошкодження деревостану та вплив змін клімату. А доступність знімків з дуже високим просторовим розрізненням (менше 1 м) дозволила з високою точністю картувати ділянки, однорідні за структурою деревостану (вік, розмір, частка лісових насаджень одного типу і т.д.). Нові технології **лазерного сканування** суттєво змінюють підходи до аналізу структури та функцій лісових екосистем завдяки точнішій та детальнішій тривимірній автоматизованій оцінці складу лісу. Наземний лазерний сканер, наразі, широко використовують для аналізу **мікрооселищ** на деревах (рис. 4.62). Вважається, що чим різноманітнішою є структура дерева, тим більше мікрооселищ буде на ньому, тим вищими буде біорізноманіття та продуктивність лісового масиву загалом.

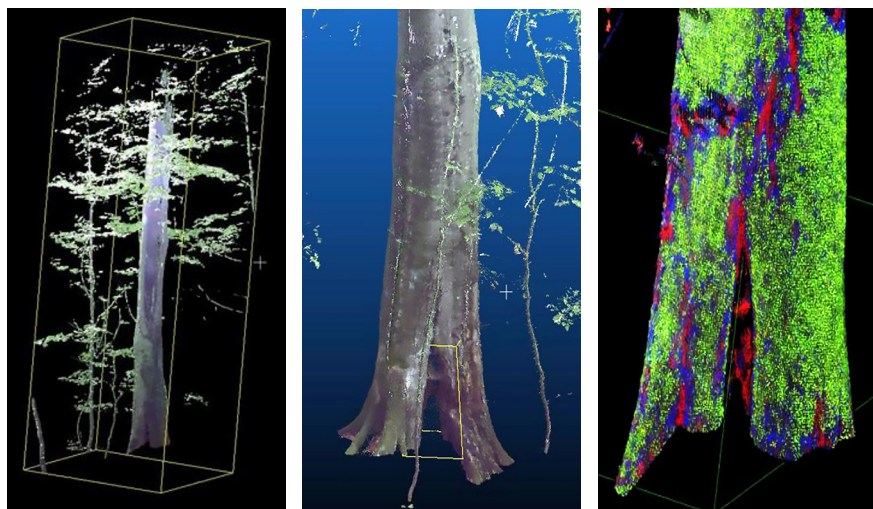


Рис. 4.62. 3D-моделі дерева (бук європейський), отримані наземним лазерним сканером учасниками літньої школи з дослідження букових пралісів, яку проводив Швейцарський федеральний інститут із досліджень лісу, снігу та ландшафтів (WSL) 2–8 вересня 2018 р. на базі Карпатського біосферного заповідника, масив Уголька — Широкий Луг

Загалом можна виділити три важливі напрями застосування ДЗЗ у лісовій сфері [6]:

■ **Широкомасштабний моніторинг стану лісів та здоров'я деревних насаджень**

- виявлення лісових ділянок, пригнічених внаслідок хвороб чи шкідників — особлива увага тут приділяється саме ранньому виявленню осередків ураження для того, щоб вчасно вжити заходів;
- виявлення дерев пошкоджених внаслідок дії природного чи антропогенного несприятливого впливу, наприклад, пожеж, буревіїв, викидів від промислового виробництва поряд з лісовим масивом;
- моніторинг метеорологічних і кліматичних умов, що впливають на стан лісів, таких як умови зволоження та температура.

- **Детальна лісова інвентаризація (характеристика деревостану) для оцінки обсягу та запасу деревини**
 - вік лісових насаджень, висота, діаметр стовбура;
 - щільність деревних насаджень, зімкненість крон чи проективне покриття;
 - межі кварталних виділів з однорідними насадженнями.
- **Аналіз структури лісу для збалансованого використання лісового ресурсу**
 - ретроспективний аналіз території — коли відбувалися вирубки, якого розміру, чи були порушення деревини внаслідок несприятливих факторів — все це важливо, зокрема, для виявлення старовікових ділянок та цінних екосистем;
 - моделювання стоку CO₂ як одного з парникових газів за різних сценаріїв лісового управління;
 - оцінка екосистемних послуг — прямої та непрямой вигоди, яку надають лісові масиви, такі як деревина, гриби, ягоди, регуляція клімату, водного режиму і т. д.

Виявлення дерев, пошкоджених пожежею

19 серпня 2007 року сталося займання лісового покриву на Херсонщині, що швидко поширилося в умовах сухого степу і охопило ліси Цюрупинського та Голопристанського районів. У гасінні пожежі, що тривала 10 днів, були задіяні МНС України, Державний комітет лісового господарства та інші відомства, загалом 1341 людина [7]. Ця пожежа стала однією з наймасштабніших у регіоні. Після її завершення величезні території були вкриті попелом, і важко було зрозуміти, які дерева були знищені пожежею, а які ще не відмерли.

Тоді Державний комітет лісового господарства вирішив використати мультиспектральну супутникову зйомку. Для виявлення відмерлих дерев застосували **метод комбінації каналів** знімка Landsat 5, зробленого наприкінці серпня. Комбінація каналів 3, 2, 1, що є зображенням у видимому діапазоні, була близькою до того, що можна було побачити на місці на власні очі, але розпізнати живі та відмерлі дерева було важко (рис. 4.63, а).

Дерева, у яких продовжується процес фотосинтезу, мають високе значення відбиття у зеленому спектральному діапазоні, на відміну від відмерлих дерев, які мають мінімальні значення відбиття у зеленій та інфрачервоній частині спектра. Окрім того, пошкоджені дерева мають більше значення відбиття у середньому інфрачервоному каналі, що пов'язано зі зниженням вмісту води у листі. Тому для того, щоб розрізнити пошкоджені та непошкоджені дерева, варто використати комбінацію каналів — середній інфрачервоний, ближній інфрачервоний і зелений. Для супутникового знімка Landsat 5 це, відповідно, **комбінація каналів 7, 4, 2** (рис. 4.63, б). Таким чином, вдалося виділити масиви відмерлих дерев та оцінити збитки від пожежі.

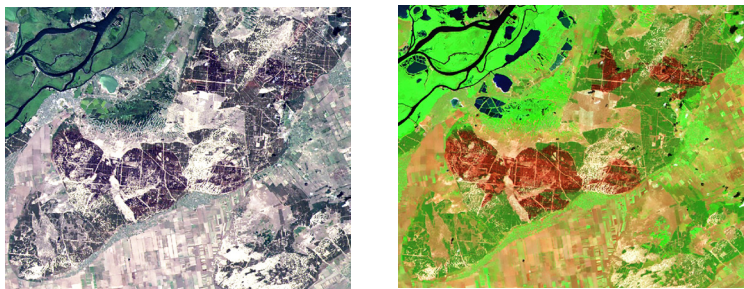


Рис. 4.63. Знімок Landsat 5 із різною комбінацією каналів для оцінки наслідків пожежі у серпні 2007 року:

а — комбінація каналів 3, 2, 1 у видимому діапазоні — лісовий масив відображається темно-зеленим кольором, русло річки чорним, цвітіння водоростей на водній поверхні та поля зеленим кольором, відкритий ґрунт сірий, піщані дюни — білим кольором; б — комбінація каналів 7, 4, 2 середній інфрачервоний, ближній інфрачервоний і зелений діапазони — жива лісова деревна рослинність відображається темно-зеленим кольором, а відмерлі дерева поміж них — яскраво-коричневого кольору

Моніторинг осередків ураження шкідниками лісових масивів

Для виявлення пошкоджених шкідниками лісових масивів та осередків висихання сосни, зокрема внаслідок ураження верхівковим корідом, також можна досить ефективно застосувати методи дистанційного зондування Землі. Цими методами можуть бути: авіаційна і космозйомка, аеровізуальне обстеження, лідарна зйомка (рис. 4.64).

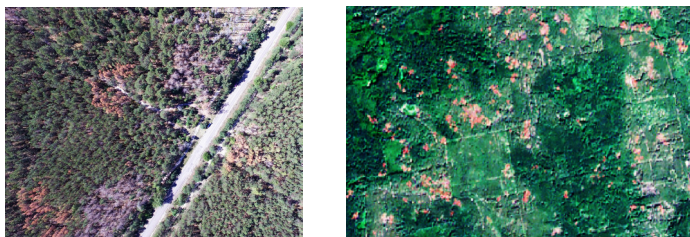


Рис. 4.64. Прояв уражених соснових насаджень на аерокосмічних зображеннях: *а* — зйомка квадрокоптером, *б* — супутникова зйомка Sentinel-2 (сосни, що всихають, виділяються у вигляді червоних плям; чим новіший осередок, тим яскравіший колір)

Для лісотаксації найчастіше застосовують аеровізуальне обстеження. Перевагою візуального методу є відносно низька вартість і можливість виявляти навіть окремі уражені дерева [8, 9]. Недоліком є висока трудоемність і ймовірність пропуску пошкоджених ділянок за необхідності обстеження великої території.

Застосування обстеження за допомогою безпілотних літальних апаратів (рис. 4.65) дозволяє суттєво знизити витрати робочого часу, охоплювати великі території та зменшити можливість пропуску певних масивів лісу. Однак часто виникають складнощі з визначенням точних площ уражених лісових масивів через складність географічної прив'язки та геометричної корекції матеріалів зйомки, якщо територія дослідження є великою.



Рис. 4.65. Результати аерофотозйомки безпілотним літальним апаратом, липень 2018 р.

Інтерпретація матеріалів аерофотозйомки, у тому числі лідарної, забезпечує високу точність та деталізацію. Однак через високу вартість такого методу низькою є оперативність та частота обстеження, що не дозволяє ефективно відстежувати виникнення нових осередків шкідників впродовж сезону вегетації.

Застосування супутникової зйомки з надвисоким просторовим розрізненням (менше одного метра) також дозволяє отримати результати з високою точністю дешифрування. Наприклад, White (2005), використовуючи знімки супутника Ikonos, отримав точність оцінки площ всихання хвойних дерев на рівні 71% у випадку низького рівня ураження території шкідниками, та 92% у випадку високого ступеня ураження шкідниками лісового масиву [10]. Однак дані ДЗЗ з надвисоким просторовим розрізненням також не можуть забезпечити необхідну оперативність і частоту зйомки через їхні технічні особливості та високу вартість. Ще одним суттєвим недоліком цих даних є низьке спектральне розрізнення, що ускладнює автоматизовану обробку знімків.

Тому найбільш оптимальний метод моніторингу пошкоджених шкідниками лісових масивів впродовж сезону вегетації — це **застосування даних супутникової зйомки з середнім та високим просторовим розрізненням** (10–30 метрів). До таких видів зйомки належать знімки супутників Landsat-8 (15–30 м) та Sentinel-2 (10 м). Ці супутникові системи здійснюють великий обсяг мультиспектральної зйомки упродовж року, формуючи багаторазове покриття території дослідження. Ефективність застосування цих знімків для виявлення пошкоджених шкідниками хвойних лісових масивів підтверджується численними науковими дослідженнями [11].

При використанні мультиспектральних супутникових даних високого та середнього просторового розрізнення, зокрема для моніторингу уражених шкідниками ділянок лісу, необхідно враховувати, що крона окремого дерева займає на таких знімках менше одного пікселя, що суттєво ускладнює виділення окремих відмерлих дерев. Значення спектрального випромінювання у пікселі зображення є складною комбінацією відбитого випромінювання від крон дерев, крон 2-го ярусу, підросту, підліска, живого

надґрунтового покриву, ґрунту, а також тіні сусідніх дерев [8]. При пошкодженні дерев, особливо у випадку ураження верхівковим короїдом, змінюється відбиваюча здатність крони сосни, внаслідок зміни біофізичних процесів у деревах, що призводить до зміни кольору крони на супутниковому знімку.

Однак варто відзначити, що, окрім відмирання дерев, зміни у спектральній відбиваючій здатності ділянок лісу впродовж вегетаційного періоду спричиняє зміна фенологічних фаз, вологість ґрунту, вміст води у рослинах та ін. Проаналізувавши серію супутникових даних за один рік, вчені виявили, що ушкоджені дерева на території дослідження ідентифікуються найкраще за період з липня до серпня та проявляються на знімках до початку грудня. На знімках, зроблених у період з січня до липня, виявити пошкоджені дерева майже неможливо.

Для виділення осередків шкідників хвойних дерев за допомогою космічних знімків застосовують як візуальний, так і автоматизований **метод дешифрування знімків**, тобто отримання потрібної інформації за супутниковим зображенням. У деяких випадках **візуальне дешифрування** забезпечує швидкий результат і вимагає меншої кількості наземних обстежень для формування набору еталонів. Однак значним недоліком такого методу є велика ймовірність помилок унаслідок пропуску ділянок, особливо дрібних, що охоплюють лише один чи декілька пікселів. Також у випадку дешифрування різними експертами може виникати проблема нестабільного результату. Тому для моніторингу території заповідника «Древлянський» дослідники застосували **метод автоматизованої класифікації зображення**.

При автоматизованому дешифруванні супутникових зображень використовують різні алгоритми комп'ютерної класифікації, зокрема класифікацію за максимальної подібності. Цей метод полягає у тому, що спочатку потрібно вибрати еталонні об'єкти, тобто виділити місця, де точно відомо, що там знаходяться уражені шкідниками дерева, і далі, використовуючи цей набір еталонів, автоматично виділити схожі за спектральними характеристиками ділянки лісу на супутниковому знімку.

Для того щоб створити базу даних еталонів осередків всихання сосни, дослідники використали матеріали зйомки безпілотним літальним апаратом, зробленої у липні 2018 р. Аерофотозйомка безпілотним літальним апаратом проводиться за сприятливих погодних умов: малохмарне небо, хороша видимість. Для встановлення меж ділянок ураження здійснили серію польотів на висоті 20 м вздовж кварталу з проміжками 30 м (рис. 4.65).

Для класифікації використали модуль Напівавтоматична класифікація в QGIS (Semi-Automatic Classification Plugin for QGIS). І в результаті отримали растрове зображення з виділеними засохлими деревами, які автоматично конвертували у векторний формат для того, щоб легко можна було порахувати площі та кількість уражень у межах лісових кварталів і планувати санітарні заходи (рис. 4.66).

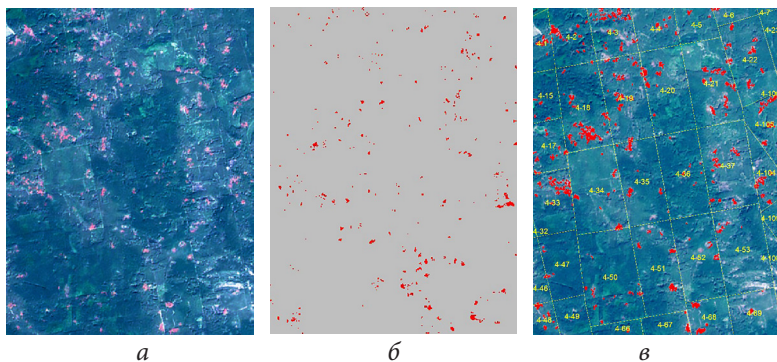


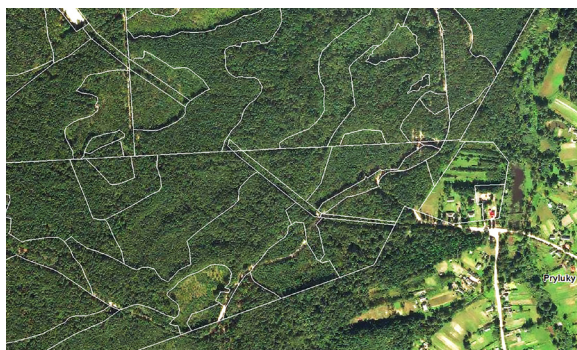
Рис. 4.66. Класифікація супутникового знімку Sentinel-2 для виявлення осередків всихання сосни внаслідок ураження короїдом: а — вихідний знімок Sentinel-2 за 30 липня 2017 р.; б — растровий файл з результатом класифікації методом найбільшої подібності; в — супутниковий знімок Sentinel-2 з векторним шаром виділених осередків всихання сосни (червоний колір) та квартальною сіткою (жовтий колір)

Уточнення меж квартальних виділів з однорідними лісовими насадженнями

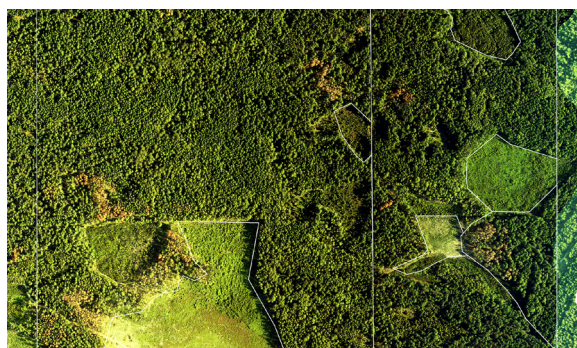
Для інвентаризації структури лісових масивів та уточнення меж квартальних виділів слід використовувати супутникові чи аерофотознімки з високим просторовим розрізненням — менше

одного метра. У такому аналізі актуальність зйомки та спектральне розрізнення не є надзвичайно важливими. Оскільки у промислових лісових масивах вирубують і насаджують дерева одночасно у межах всього виділу, то структура, вік, висота та діаметр стовбура і, відповідно, крони мають бути більш-менш однаковими у межах одного виділу. Тому діаметр крони дерев може бути показником для того, щоб оцінити, чи містить виділ один клас дерев, чи декілька (рис. 4.67).

Виділ — це частина лісового кварталу і найменша одиниця, до якої, як правило, прив'язують усі статистичні дані, тому важливо, щоб такі ділянки були однорідними.



а



б

Рис. 4.67. Редагування меж кварталних виділів на основі:
а — супутникового знімка з високим просторовим розрізненням;
б — аерофотознімку

Дистанційний моніторинг вирубок лісу

Динаміку рубок у межах лісових масивів Боярської лісодослідної станції (ЛДС) відстежують за допомогою ретроспективного аналізу супутникових знімків Landsat 4, 5, 8. Програма Landsat — це найтриваліша місія дистанційного зондування Землі з космосу, що постачає мультиспектральні зображення земної поверхні з просторовим розрізненням від 15 метрів. Для дослідження з відкритого каталогу супутникових знімків Landsat [12] завантажили 20 зображень за період з 1985 до 2015 рр., зроблені під час вегетаційного періоду (травень — вересень) [13].

Кольорові зображення, близькі до природних кольорів, сформували шляхом комбінації спектральних каналів: інфрачервоного, ближнього інфрачервоного і зеленого. На зображеннях здорова рослинність відображається яскраво-зеленим кольором, трав'яні угруповання — зеленим, відкритий ґрунт (вирубки) — яскраво рожевим кольором; коричневі та оранжеві тони, характерні для розрідженої рослинності, сухостійна рослинність виглядає помаранчевою, вода — блакитною (рис. 4.68) [13].

У результатів дешифрування супутникових зображень ділянки вирубок, дослідники векторизували та обрахували їхні площі по роках. Динаміка рубок у межах лісових масивів території Боярської лісодослідної станції протягом 1985–2015 рр. показана на рис. 4.69 [13].

Дослідження показало різке збільшення площ вирубок, починаючи з 2000-х років, від 1–2% до 5% від загальної площі лісових масивів. Окрім того, деякі окремі ділянки вирубок мають площу від 10 до 25 га, зокрема поблизу с. Плесецьке. Отримані дані свідчать про те, що внаслідок такої антропогенної діяльності, як забудова та рубка лісових масивів в межах Боярської ЛДС, природні ділянки, що формують екомережу, місця існування рідкісних видів рослин і тварин, а також найрідкісніші види рослин і тварин знаходяться під загрозою знищення [13].

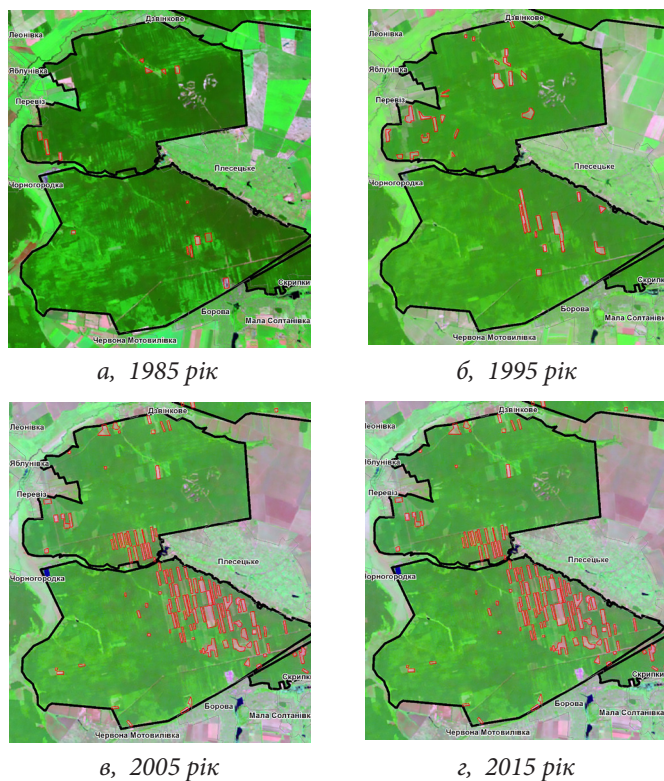


Рис. 4.68. Динаміка рубок лісових масивів навколо с. Плесецьке (місця рубок виділені червоним кольором) [13]

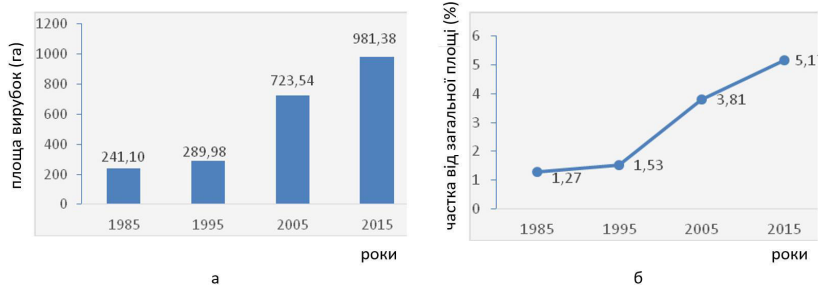


Рис. 4.69. Динаміка рубок у межах Боярської ЛДС за 1985–2015 роки: а — площа вирубок (га); б — частка від загальної площі (%) [13]

Глобальний моніторинг лісів за допомогою онлайн-платформи Forest Watch

Для глобального моніторингу заліснення та знеліснення Інститут світових ресурсів (World Resources Institute) у співпраці з багатьма науковими та громадськими організаціями, зокрема Google, USAID, Мерілендський університет і ESRI, створив відкриту онлайн-платформу Global Forest Watch [14], що базується на даних супутникових знімків Modis і Landsat та дозволяє у режимі, наближеному до реального часу, відстежувати зміни лісового покриву.

За допомогою картографічного інтерфейсу системи (рис. 4.70) можна виділити територію, часовий проміжок і отримати інформацію про площу втраченого лісового покриву та площу заліснених територій. Згідно з даними системи у межах лісових масивів Боярської ЛДС за період з 2001 до 2017 втратили 2917 га лісового покриву і 1007 га лісу відновили. Після вибору території на карті, яка цікавить, кожен користувач може підписатися на оновлення даних на цю територію, у разі якщо будуть відбуватися зміни. Таким чином, система дозволяє, з одного боку, оцінювати рівень знеліснення у світовому масштабі, а з іншого — надає громадськості інструмент для контролю за нелегальними рубками лісів [15].



Рис. 4.70. Інтерфейс онлайн-платформи для моніторингу лісів Global Forest Watch, на карті синім кольором позначені місця заліснення, а червоним — знеліснені ділянки (унаслідок вирубок, пожеж та ін.)

Список використаних джерел

1. Словник української мови : в 11 томах. — Том 4, 1973. — С. 525.
2. Малиновський А. С. Древлянский природний заповідник, його місце в мережі природно-заповідного фонду України та актуальні завдання наукових досліджень на його території / А. С. Малиновський, О. О. Орлов, І. Г. Грабар // Вісник ЖНАЕУ. — 2010. — № 1. — С. 19–36.
3. Seely, H. E. (1942). Determination of tree heights from shadows in air photographs. Department of Mines and Resources. Lands, Parks and Forest Branch, Dominion Forest Service, Ottawa, Ontario. Aerial Forest Service Research Note No. 1. 14 pages.
4. Seely, H. E. (1949). Air photography and its application to forestry. Department of Mines and Resources. Mines, Forest and Scientific Services Branch. Forest Air Survey Publication No. 6. — 11 p.
5. Wulder, M. A.; Hall, R. J.; Franklin, S. E. (2005). Remote sensing and GIS in forestry. Pages 351–356, Chapter 12 in S. Aronoff, editor. Remote Sensing for GIS Managers. ESRI Press, Redlands, California.
6. A best practices guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using the area-based approach / Joanne C. White, Michael A. Wulder, Andrés Varhola, Mikko Vastaranta, Nicholas C. Coops, Bruce D. Cook, Doug Pitt, Murray Woods // Natural Resources Canada Canadian Forest Service Canadian Wood Fibre Centre, 2013. — 50 p.
7. Кузик А. Д. Еколого-лісівничі причини та наслідки пожежі у лісових масивах Херсонщини 2007 року / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України. — 2008. — Вип. 18.12. — С. 85–89.
8. Крылов А. М., Владимирова Н. А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки / А. М. Крылов, Н. А. Владимирова // Геоматика. — 2011. — № 3. — С. 53–57.
9. Meshkova V. L., Borysenko O. I. GIS-based prediction of the foliage browsing insects' outbreaks in the pine stands of the SE «Kreminske FHE». Наукові праці ЛАНУ. 2017. 15. 112–118.
10. White, J. C., Wulder, M. A., Brooks, D., Reich, R., Wheate, R. D. 2005. Detection of red attack stage mountain pine beetle infestation with high spatial resolution satellite imagery. Remote Sensing of Environment, Vol. 96, No. 3–4, pp. 340–351.
11. Coggins S. B., Coops N. C., Wulder M. A. 2008a. Initialisation of an insect infestation spread model using tree structure and spatial characteristics derived from high spatial resolution digital aerial imagery. Can. J. Remote Sens. 34 (6):485–502.

12. EarthExplorer [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://earthexplorer.usgs.gov>.

13. Богомаз М. В., Васильюк О., Заворотна Г., Кучма Т. Л., Некрасова О. Д., Перегрим М. М., Плига А. В., Полянська К. В., Пішняк Д. В., Прекрасна Є. П. Проектований національний природний парк «Приірпіння та Чернечий ліс», видання 2-ге, доповнене і перероблене (під ред. Є. Прекрасної) / Серія: «Conservation Biology in Ukraine». — Вип. 7. — К.: UNCG, Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена. — 2018.

14. Global Forest Watch [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.globalforestwatch.org/map>.

15. Hansen, Matthew; Popatov, Peter; et al. (2013). «High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change». Science. 342 (6160): 850–853. doi:10.1126/science.1244693.

4.2.2. Агрономія

Якщо уявити, що Земля — це яблуко, то лише одна його третина буде припадати на поверхню суші. При цьому частка сільськогосподарських угідь від загальної площі суші становить 37%, а частка орних земель, на яких вирощуються сільськогосподарські культури, — близько 11%. Тобто, якщо поділити яблуко на тридцять частин, то лише одна з них буде тією часткою, що має забезпечити усе населення планети рослинними продуктами харчування. І за останні 15 років ця частка майже не змінилася (у 2003 році вона становила 10,8%). На відміну від населення планети, що збільшилося за цей же проміжок часу на 1 мільярд 250 мільйонів осіб [1]. Отже, технології вирощування сільськогосподарської продукції мають розвиватися таким чином, щоб отримувати більше врожаю на тій же площі.



Аеросупутникові системи, що здатні здійснювати постійне спостереження за біофізичними процесами, можуть сприяти збільшенню продуктивності аграрних земель. І у впровадженні таких систем зацікавлені як фермери для отримання більшого прибутку, так і національні уряди для зміцнення продовольчої безпеки.

Чим, насамперед, дані дистанційного зондування можуть допомогти фермеру, власнику поля чи агрохолдингу? Загалом це підтримка ухвалення рішень під час вирощування сільськогосподарських культур, надаючи актуальну інформацію про:

- **стан ґрунтового покриття** для планування структури посівів — наприклад, на частині поля зі збідненим чи деградованим ґрунтом краще посіяти багаторічні чи лікарські трави, а не просапні культури, з яких все одно не можна буде зібрати хороший врожай, а лише даремно буде витратитися паливе та добрива на їхню обробку;
- **стан посівів** — чи нормально відбуваються сходи посів, відновлення вегетації озимини після зимівлі, накопичення біомаси та дозрівання, чи не помітне пригнічення рослин, що може бути наслідком поширення хвороб чи шкідників, або нестачею елементів живлення, чи потрібно застосовувати системи поливу чи засоби захисту і т. д.;
- **агроекологічні умови на полях** — спостереження за метеорологічними, кліматичними та агрохімічними умовами, наприклад, вмістом вологи у ґрунті чи оцінка втрат урожаю через екстремальні чи несприятливі погодні умови, такі як зливи, град та ін.;
- **ефективність технологічних процесів** — коли і де краще вносити добрива, у якій кількості, чи якісно було зроблено підготовку ґрунту до посіву, як можна пом'якшити дію несприятливих погодних умов;
- **історії поля** — збір даних про те, що сіяли на полі у попередні роки, який був урожай;
- **визначення місць відбору проб** — виявлення на полі однорідних та неоднорідних зон за станом ґрунтового покриття та посівів для того, щоб зменшити кількість місць відбору проб для детального аналізу ситуації на полі.

На національному рівні для органів державного управління важливими напрямками аеросупутникового моніторингу є:

- **інвентаризація посівів** — визначення структури та площ посівів для державної статистики;
- **прогноз урожаю** — для планування імпортно-експортних операцій, прогнозу ринкових цін на продукти харчування та ін.;

- **стан сільськогосподарських земель** — виявлення нелегального використання земель чи невикористаних сільськогосподарських угідь, заростання орних земель дерево-чагарниковою рослинністю, порушення сівозмін;
- **агрокліматичні умови у межах районів та областей** — прогноз стресових явищ в агроландшафтах, прогноз впливу змін клімату, планування заходів з адаптації до змін клімату.

Дослідження, пов'язані із застосуванням супутникових даних для потреб сільського господарства, розпочалися із запуском супутника Landsat-1 у 1972 році. У 1974 році Міністерство сільського господарства США спільно з NASA та NOAA розпочали проект, що мав назву «LACIE» (*Large Area Crop Inventory Experiment — Експеримент з інвентаризації посівів на великих площах*), метою якого була демонстрація економічної користі від застосування зйомки з космосу. Тестовою сільськогосподарською культурою обрали пшеницю, її продуктивність оцінювали за супутниковими даними Landsat, порівнювали з даними відбору проб на полях та поєднували з метеорологічною інформацією супутників NOAA та наземних метеостанцій. Це дало змогу робити прогнози врожайності пшениці за різних погодних умов [2].

У 1975 році ФАО (Продовольча та сільськогосподарська організація ООН) започаткувала програму *GIEWS (Global Information and Early Warning System — Глобальну інформаційну систему раннього попередження)* для моніторингу продовольчих потреб у світі. За супутниковими даними створюють карти наземного покриття та використання земель, поєднують їх з наземними аграрними статистичними даними та інформацією про ситуацію на аграрному ринку та погодні умови для швидкого реагування на регіональні продовольчі кризи.

У 1980-х роках поступово відбувся запуск серії супутників NOAA з сенсором AVHRR (*Advanced very-high-resolution radiometer — удосконалений сенсор з високим радіометричним розрізненням*) завдяки чому стало можливим отримувати щоденні супутникові знімки Землі. Незважаючи на їх досить низьке просторове розрізнення (від 1,1 до 4 км) на їх основі були розроблені глобальні оперативні

системи супутникового агромоніторингу. Насамперед, ці системи спрямовані на два важливі напрямки: продовольча безпека і подолання голоду у країнах, що розвиваються, та прогноз урожаю та глобального ринку сільськогосподарських культур. До таких систем глобального супутникового агромоніторингу, зокрема, належать:

- FAS (USDA Foreign Agricultural Service — Програма Аграрного департаменту США);
- GLAM (Global Agriculture Monitoring program — Програма глобального агромоніторингу);
- FEWS (USAID Famine Early Warning System — Система попередження голоду Агентства США з міжнародного розвитку);
- MARS (EU DG-JRC Monitoring Agriculture with Remote Sensing — Програма Європейського союзу з моніторингу сільського господарства за даними дистанційного зондування);
- GMFS (EU Global Monitoring of Food Security — Програма Європейського союзу з моніторингу продовольчої безпеки);
- Copernicus (EU Earth Observation Programme — Програма Європейського союзу зі спостереження за Землею).

Від України у програмі MARS бере участь Український науково-дослідний інститут прогнозування й випробування техніки і технологій ім. Л. Погорілого, який за наказом Міністерства аграрної політики і продовольства України має доступ до результатів програми, на основі яких робить бюлетені про агроекологічні умови та прогноз урожайності різних сільськогосподарських культур.

До інших наукових установ, які в Україні займаються розробкою методів аерокосмічного агромоніторингу, належать:

- у структурі Національної аграрної академії наук: Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. А. Н. Соколовського, Лабораторія водних ресурсів і моніторингу Інституту гідротехніки й меліорації та Лабораторія аерокосмічного зондування агросфери Інституту агроекології і природокористування;
- у структурі Національного космічного агентства: Центр прийому й обробки спеціальної інформації й контролю навігаційного поля та Державний науково-виробничий центр «Природа»;

- у структурі Національної академії наук України — Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН та Інститут космічних досліджень;
- серед агропромислових підприємств — «Дружба-Нова», «УКР-ПРОМІНВЕСТ-АГРО» та ін.

Моніторинг стану посівів

Спільним результатом програм FAS та GLAM є популярна он-лайн платформа **Crop Explorer** [3], де можна подивитися стан посівів на карті за будь-яку дату з 2002 року (рис. 4.71), вибрати на карті певний регіон та проаналізувати динаміку стану посівів за весь період вегетації і порівняти з даними за попередні роки чи з середнім багаторічним значенням (рис. 4.72).

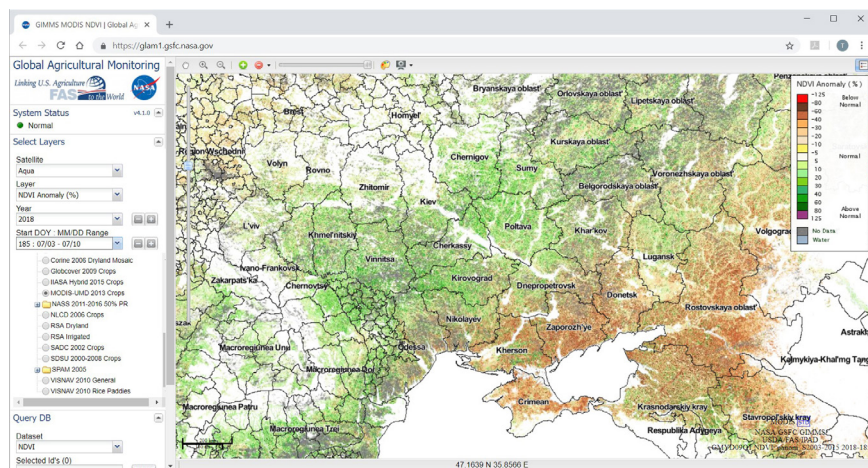


Рис. 4.71. Інтерфейс платформи Crop Explorer: карта стану рослинності за період 3–10 липня 2018 року у межах сільськогосподарських угідь — відтінки зеленого вказують на рослинність у хорошому стані (Чернігівська, Полтавська, Київська, Черкаська обл.); відтінки жовто-червоного — на рослинність у пригніченому стані (Донецька, Запорізька, Херсонська обл. та Крим)

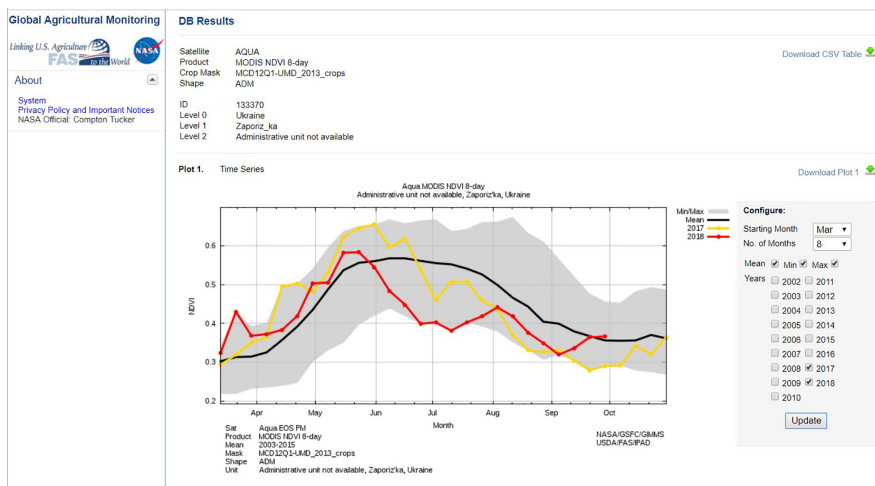


Рис. 4.72. Інтерфейс платформи Crop Explorer: графік динаміки показника стану рослинності у межах обраного регіону за поточний вегетаційний період (червона крива), за попередній рік (жовта крива) та середнє багаторічне значення (чорна крива). На графіку видно значне зниження продуктивності у червні — липні (час дозрівання зернових культур) 2018 року, порівняно з 2017 роком та середнім багаторічним значенням, що може бути причиною посушливих явищ у регіоні

Чому листя зелене? Використання мультиспектральних супутникових знімків для вивчення рослинності базується на аналізі відбитого рослинами сонячного випромінювання у різних діапазонах спектра електромагнітних хвиль. Рослинність у хорошому стані (з великою кількістю хлорофілу у листках, в яких інтенсивно відбувається процес фотосинтезу) має високе значення відбиття у зеленій частині спектра (саме тому ми бачимо листя зеленим), високе поглинання у червоній частині спектра та дуже високу відбиваючу здатність у ближньому інфрачервоному діапазоні (рис. 4.73). З погіршенням стану рослинності їх відбиваюча здатність у зеленому та ближньому інфрачервоному діапазонах знижується, що відображається на спектральній кривій.

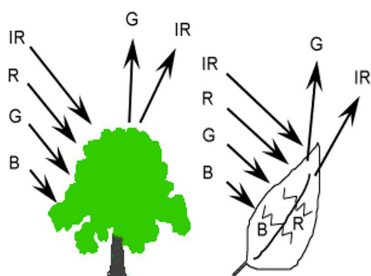


Рис. 4.73. Взаємодія світлової енергії у різних частинах спектра з рослинами (B — електромагнітне випромінювання у синій частині спектра, G — зелений, R — червоний, IR — інфрачервоний) [4]

Отже, співвідношення поглинутої, відбитої та пропущеної рослинами світлової енергії у різних спектральних діапазонах залежить від вмісту в них хлорофілу, вологості, від клітинної структури, тобто стану рослини. Такі співвідношення, які фактично є комбінаціями різних спектральних каналів супутникових знімків, називаються індексами, і відповідно, якщо вони застосовуються для аналізу рослинності — **вегетаційними індексами**. Отримані таким чином числові значення використовують для аналізу біофізичних параметрів рослинного покриву. Існує близько 200 варіантів вегетаційних індексів, що краще підходять для одних чи інших типів рослинності та ґрунту.

Одним з найвідоміших вегетаційних індексів є **нормалізований вегетаційний індекс NDVI** (Normalised Difference Vegetation Index) — нормалізована різниця відбитої енергії в червоній та ближній інфрачервоній зонах електромагнітного спектра, яка об'єднує інформацію про вміст хлорофілу (червона частина спектра) та структуру клітин листка (БІЧ-зона спектра). Використання не простого відношення, а нормалізованої різниці зменшує вплив атмосфери, рівня освітленості та часу зйомки на значення індексу, що дозволяє більш точно відстежувати зміну стану рослинності у часі.

Платформа Copr Explorer використовує супутникові дані **TERRA/AQUA MODIS**, що забезпечують щоденну зйомку з просторовим розрізненням 500 метрів. Така точність загалом дозволяє виявляти регіональні прояви погіршення стану посівів або відстежувати, наприклад, відновлення весняної вегетації озимих культур після зими. Однак для отримання більш детальної інформації з точністю до поля чи території агрогосподарства, потрібно

використовувати знімки з кращим просторовим розрізненням, наприклад, **Landsat** чи **Sentinel**. На рис. 4.74–75 порівнюються знімки MODIS та Landsat на територію трьох районів Запорізької області, у якій за даними Crop Explorer спостерігалася низька продуктивність посівів улітку 2018 року, порівняно з попередніми роками.

На рисунках 4.74 б та 4.75 б показані знімки, зроблені різними сенсорними системами в один і той же день. Помітно, що із застосуванням сенсора MODIS отримали вищі значення NDVI, однак загалом прослідковується схожа просторова схема. На даних MODIS добре виділяються зони з високим значенням NDVI у центральній та південній частинах території дослідження. На даних Landsat чітко видно, що це територія зрошувальних полів, що мають круглу форму відповідно до роботи систем поливу.

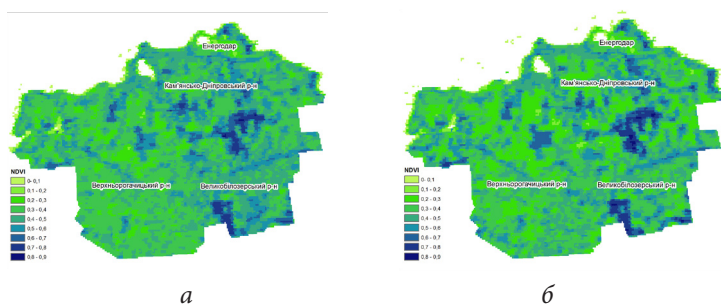


Рис. 4.74. Знімки MODIS: а — дата зйомки — 18 червня 2018 р.; б — дата зйомки — 28 червня 2018 р.

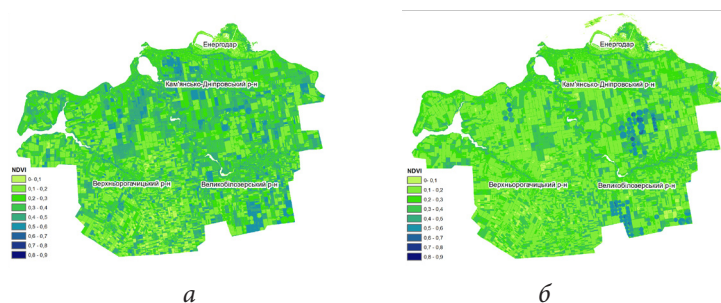


Рис. 4.75. Знімки Landsat-8: а — дата зйомки — 27 травня 2018 р.; б — дата зйомки — 28 червня 2018 р.

Знімки MODIS зроблені з різницею у часі десять днів, а знімки Landsat — один місяць. За десятиденний період зміни майже не відбулися, однак за місяць ситуація суттєво змінилася. На кінець червня лише поля, на яких використовують системи поливу, знаходяться у дуже хорошому стані (тобто поля з високим значенням NDVI). Однак для того, щоб визначити, що стало причиною погіршення стану, і коли саме це відбулося важливо отримувати знімки території з невеликим проміжком часу, тому у деяких випадках **частота зйомки**, чи навіть можливість отримувати новий знімок щодня є важливішими за просторове розрізнення зображення. Отже, для аналізу динаміки біофізичних процесів важливо поєднувати дані з різним розрізненням, просторовим та темпоральним (що вказує на частоту зйомки).

Одним з найпростіших та поширених методів визначення того, де саме відбулися **зміни у часі**, — є проста арифметична різниця між знімками за різні дати. Тобто, від растрового шару зі значеннями NDVI за 28.06.2018 потрібно відняти растровий шар NDVI за 27.05.2018. Від'ємні значення отриманого шару будуть на полях, де стан посівів погіршився, а додатні значення — на полях, де біомаса збільшилася (рис. 4.76).

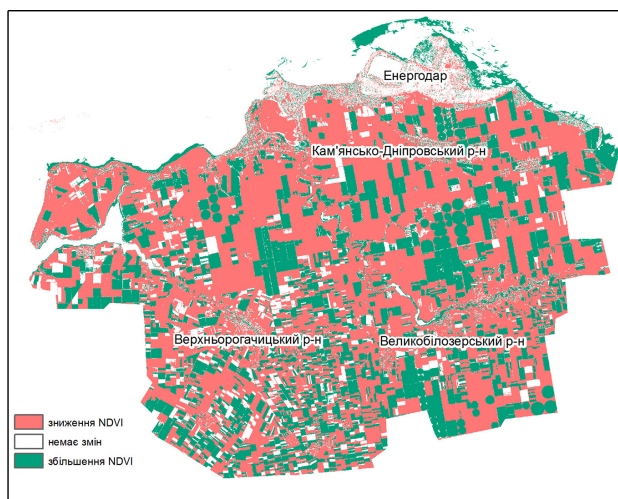


Рис. 4.76. Аналіз зміни NDVI
за період з 27 травня до 28 червня 2018 р.

Подібним чином можна виконувати інші математичні операції з набором растрів за певний часовий проміжок, для того щоб визначати середні, мінімальні, максимальні чи сумарні значення певного біофізичного показника.

Результат збору врожаю у Запорізькій області виявив, що у 2018 році урожайність, зокрема, пшениці озимої була на рівні 25,2 центнерів з гектара, що на 27% нижче, ніж у 2017 році [5]. Такий результат можна було прогнозувати, аналізуючи графік динаміки продуктивності посівів (рис. 4.72).

Моніторинг агрокліматичних умов — оцінка вмісту вологи у ґрунті

Чи справді посуха у Запорізькій області стала причиною зниження продуктивності посівів улітку 2018 року? Вміст вологи у ґрунті настільки важливий показник для сільського господарства, що наразі декілька супутників, які знаходяться на орбіті, були сконструйовані саме для моніторингу умов зволоженості ґрунту, зокрема це супутники SMOS, SMAP, METOP. Серед них найкраще просторове розрізнення (10 км) мають дані **супутника SMAP** (Soil Moisture Active Passive), який було запущено НАСА 31 січня 2015 року. Смуга покриття шириною 1000 км дозволяє оновлювати карти вологості ґрунту кожні 2–3 дні.

SMAP поєднує **радіометр** (пасивний сенсор) та **радар з синтезованою апертурою** (активний сенсор), що передає послідовні імпульси радіохвиль до цільового об'єкта та реєструє відбиту хвилю. Такий метод зйомки дозволяє аналізувати структуру поверхні, та поєднуючи з даними гідрологічного моделювання, отримувати значення вмісту вологи у верхньому шарі ґрунту (глибиною до 5 см), а не лише на поверхні, що важливо для оцінки можливості засвоєння вологи кореневою системою рослин.

На карті вмісту вологи у верхньому шарі ґрунту за 26 травня 2018 року, створеною за даними SMAP на всю територію України (рис. 4.77), помітно, що у більшій частині Запорізької області є дефіцит вологи у ґрунті (<5 мм), які і на території усієї Вінницької та частині Дніпропетровської, Хмельницької, Кіровоградської, Житомирської та Одеської областей.

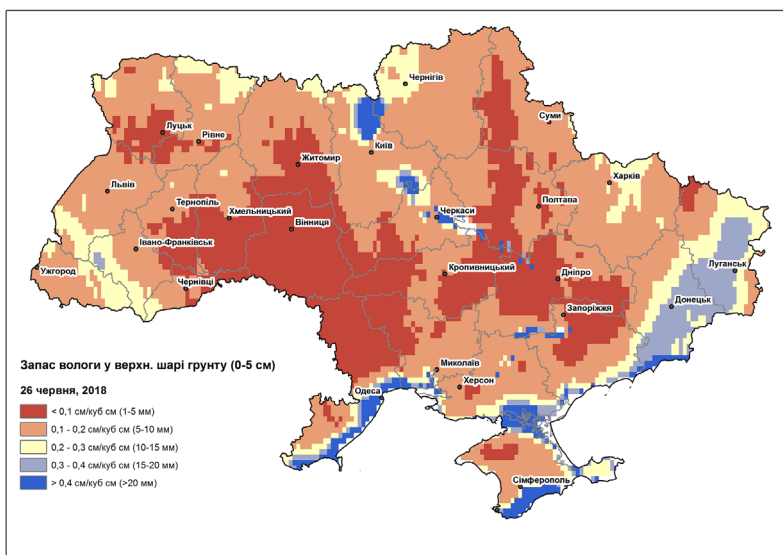


Рис. 4.77. Вміст вологи у верхньому шарі ґрунту на території України за 24–26 червня 2018 року

Отже, низька продуктивність посівів улітку 2018 року може бути пов'язана з посушливими явищами у регіоні. Загалом, інформація про вміст вологи у ґрунті є важливою для раннього попередження посушливих явищ та своєчасного планування заходів з пом'якшення їх наслідків. Наприклад, за низьких значень вологовмісту у ґрунті на початок посівної кампанії, рекомендується здійснювати прямий посів, тобто без передпосівної культивуації, оскільки розпушування ґрунту буде призводити до втрати та випаровування і без того дефіцитної вологи у ґрунті.

Оцінка стану ґрунтового покриття — виявлення водної ерозії ґрунту

Водна ерозія — це процес змивання або вимивання часток ґрунту талими і зливовими водами. Під впливом стоку води, особливо на пологих схилах, рівномірно знімається верхній шар ґрунту, який багатий гумусом. Ця ерозія небезпечна тим, що на початкових стадіях вона мало помітна і проявляється лише в незначних змінах кольору ґрунту.

Одним із методів застосування супутникових даних для таких досліджень як аналіз поширення агрохімічних елементів у ґрунті є пошук залежності між значеннями відбиття у різних спектральних каналах та концентрацією речовин у певних точках, де були відібрані проби. Показником рівня ерозійної деградації ґрунту та його родючості є вміст гумусу (або органічної речовини). Такі дослідження важливо проводити у час, коли ґрунт не вкритий рослинністю чи сніговим покривом.

Досліджуючи застосування ДЗЗ для оцінки вмісту гумусу, на шести полях у Гошовському районі Рівненської області, вчені зробили відбір проб та в лабораторних умовах визначили вміст гумусу (рис. 4.78) [6]. З архіву даних Європейського космічного агентства завантажили знімок **Sentinel-2** за 4 квітня 2018 р. У кожній точці відбору проб визначили значення спектрального відбиття у каналах 2, 4, 5, 6, 8, 8а, 11, 12 (тобто каналах з просторовим розрізненням 10–30 м).

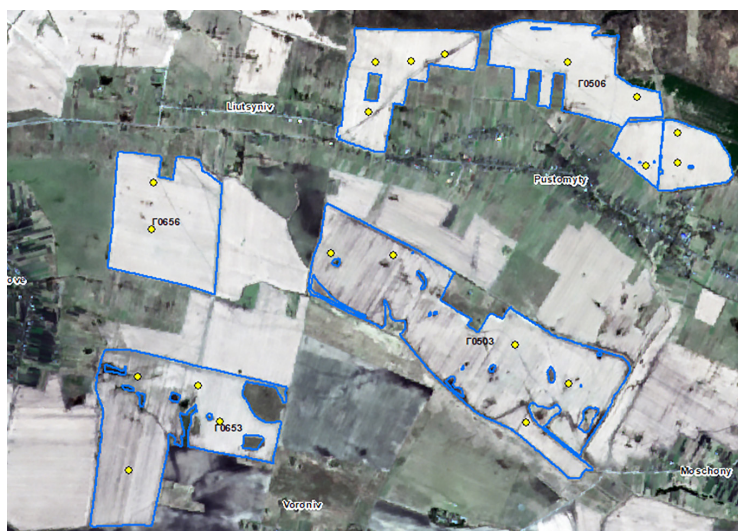


Рис. 4.78. Супутниковий знімок Sentinel-2 за 4 квітня 2018 р. з межами полів (виділені синім кольором) та точками відбору проб (виділені жовтим кольором)

Таким чином, було сформовано таблицю, у якій для кожного значення вмісту гумусу були збережені відповідні значення спектральних каналів у точці відбору проб.

Залежність між значеннями вмісту гумусу та спектральними значеннями каналів визначали методом лінійної множинної регресії за допомогою статистичної програми SPSS і таким чином отримали рівняння множинної регресії, що являє собою суму спектральних каналів з відповідним визначеним коефіцієнтом для кожного каналу. За рівнянням множинної регресії з використанням усіх зазначених каналів супутникового знімка, кожен з яких використовується як окремий растровий шар (b2, b3, b4 і т.д.), розраховується новий растровий шар, у якому кожен піксель зображення містить інформацію про рівень гумусу (рис. 4.79). На зображенні помітна строкатість полів за вмістом гумусу та ділянки з проявом ерозійної деградації (світлий відтінок), зокрема на полях 656 та 653.

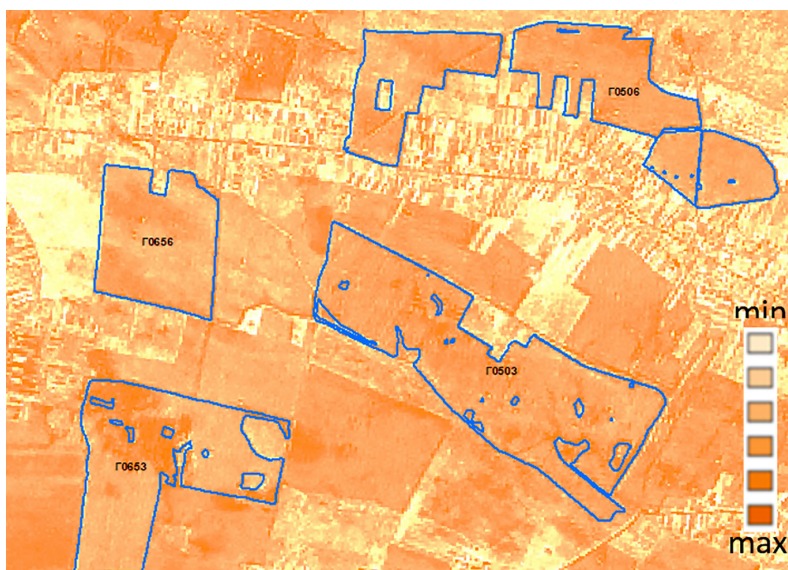


Рис. 4.79. Карта вмісту гумусу на території полів (виділено синім кольором) за даними Sentinel-2 [6]

Отже, ми розглянули приклади застосування даних дистанційного зондування Землі в агрономії на основі аналізу часових рядів супутникових знімків та вегетаційних індексів, а також пошуку залежності між концентрацією агрохімічних елементів та мульти-спектральними даними супутникової зйомки.

Список використаних джерел

1. Статистика Світового Банку [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://data.worldbank.org>.
2. MacDonald, R. B.; Hall, F. G.; Erb, R. B., The Use of LANDSAT Data in a Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE) — 1975. LARS Symposia. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: http://docs.lib.purdue.edu/lars_symp/46.
3. Crop Explorer [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://glam1.gsfc.nasa.gov>.
4. Fundamentals of Remote Sensing. Canada Centre for Mapping and Earth Observation and Natural Resources Canada (CCRS/CCT) [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9309> https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf.
5. Latifundist, 2018. Система «Урожай онлайн». [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://latifundist.com/urozhaj-online-2018>.
6. Tarariko O., Syrotenko O., Kuchma T., Iliencko T. Soil erosion assessment using remote sensing // Матеріали Шостої Всеукраїнської конференції «GEO-UA», Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки. — К. — 2018. — С. 99–101.

4.2.3. Охорона довкілля та раціональне природокористування

Дані ДЗЗ відкривають нові шляхи пошуків методів раціонального землекористування. Як на маленькій території, так і на рівні країни, світу загалом існує необхідність планування будь-якого господарського освоєння територій в поєднанні із збалансованим використанням природних ресурсів та збереження територій, важливих для підтримки екологічної рівноваги, насамперед природоохоронних.

Використання космічних знімків для моніторингу і оцінки стану природоохоронних територій різного рангу охорони (загальнодержавного чи місцевого) є ефективним і об'єктивним методом, який дозволяє отримати результат в максимально стислі терміни. З огляду на слабку транспортну доступність заповідників, національних парків і заказників саме дистанційні методи дозволяють вирішити цілий комплекс завдань, складних для традиційних наземних методів спостережень.

За допомогою методів ДЗЗ можна здійснювати:

- моніторинг стану існуючих природоохоронних територій, а саме виявляти порушення режиму охорони (рубки лісу, засмічення, незаконне будівництво, зміни в ландшафтах тощо);
- картографування різних типів оселищ та природних комплексів в межах природоохоронних територій;
- моніторинг динаміки природоохоронних та антропогенних змін, що відбуваються в межах природоохоронних територій (природна зміна рослинності, наприклад — заростання чагарниками, деградація певних типів природних оселищ внаслідок опосередкованого впливу суміжних техногенних територій тощо);
- формування і уточнення меж існуючих і проєктованих природоохоронних територій.

Картографування ландшафтів в межах природоохоронних територій

Космічні знімки застосовуються для здійснення фонових моніторингу — інвентаризації та оперативного картографування природних ресурсів, фенологічного і динамічного моніторингу — спостереження за сезонними та багаторічними змінами природного середовища, а також для оцінки впливу антропогенної діяльності на природне середовище, контроль за розміром, формою, глибиною і наслідками впливу господарської діяльності (рис. 4.80) [1].

Створені на основі дистанційних даних актуальні тематичні карти допомагають оцінювати місця найбільшого рекреаційного навантаження, контролювати вплив антропогенних факторів на лісові ресурси (зокрема вирубки наведеної на рис. 4.81).

Незважаючи на формально високий природоохоронний статус даної території, на деяких її частинах дозволяється рекреаційна діяльність, яка часто приймає стихійний характер, зокрема, це 150 м берегової лінії на східному та північному узбережжях озера Біле, а також смуга його акваторії шириною 50 м.

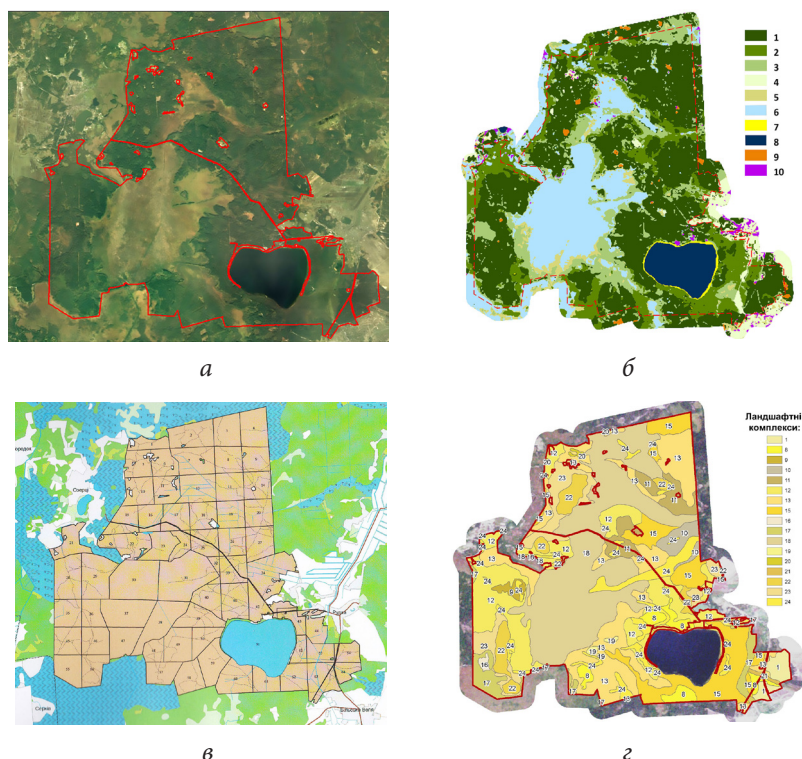


Рис. 4.80. Картографування ландшафтів та дистанційний моніторинг біотопів Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника:

- a* — межі заповідника винесені на космічному знімку;
б — карта біотопів отримана в результаті класифікації космічних знімків Landsat 8 (типи біотопів: 1 — хвойний ліс; 2 — листяний ліс; 3 — рідколісся та поросль лісу; 4 — лучна рослинність; 5 — чагарникова рослинність; 6 — вологолюбна та заболочена рослинність; 7 — мілководдя; 8 — вода; 9 — вирубка лісу; 10 — відкритий ґрунт, забудова); *в* — схема розміщення урочищ за категоріями; *г* — карта ландшафтних комплексів [1]



Рис. 4.81. Приклад вирубки території Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника (а — 2007 р.; б — 2011 р.)

Практичне втілення отриманих результатів може бути використане при розробці екомережі, основна мета якої полягає у забезпеченні збереження біо- та ландшафтного різноманіття, здійсненні фонових моніторингу довкілля, стабілізації екологічної рівноваги, підвищення продуктивності ландшафтів, покращення стану довкілля та забезпечення екологічної безпеки територій природно-заповідного фонду [2].

Зоогеографічне картографування ареалів поширення річкового бобра

У багатьох країнах світу в умовах зміни клімату, деградації трансформованих водних екосистем, зменшення біорізноманіття увага дослідників сфокусована на бобрах. Присутність бобрів та створення ними водойм збільшує кількість птахів, земноводних, риб, зберігає та очищує прісну воду, сприяє підняттю рівня ґрунтових вод. Такі види, які здатні активно змінювати природні комплекси, називають екосистемними інженерами. Сучасні технології дозволяють поглянути на роботу бобрів з космосу, оцінити масштаби впливу та зробити прогнози змін. Розглянемо це питання на прикладі Національного природного парку «Слобожанський» [3].

Польові дані, які були зібрані під час обліків чисельності, збирають в базу даних сімейних ділянок, оновлюють векторний шар просторового розміщення бобрових споруд та їх використання (рис. 4.82, а). Для орієнтації на місцевості та занотовування вимірів обліковці

використовують мобільні пристрої та додатки (NextGIS mobile, ArcGIS Mobile) з набором підготовлених карт місцевості, спеціальні польові щоденники. Відображення у ГІС даних по розмноженню у родинках бобрів та виникненню нових зимувальних ділянок надає цікаву інформацію про розселення тварин та успішність використання територій (рис. 4.82, б).

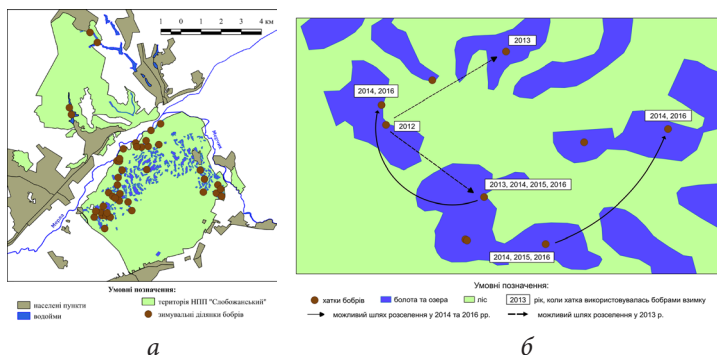


Рис. 4.82. ГІС-проект дослідження бобрів у НПП «Слобожанський»: а — розташування зимувальних ділянок бобра європейського у 2016 році; б — динаміка кількох поселень бобрів

В умовах пересихаючих лісових озер бобрам доводиться також докладати зусиль, щоб відновити водний режим. Вони риють канали, які добре видно під час зйомки з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та на високодетальних космічних знімках (рис. 4.83). Активна риюча діяльність дозволяє затримувати дощову воду та піднімати рівень ґрунтових вод [4].



Рис. 4.83. Вивчення бобрової діяльності за допомогою БПЛА: а — боброві канали; б — боброва хатка

Оцінка вразливості природоохоронних територій до рекреаційного навантаження



Рис. 4.84. Фото відпочивальників на оз. Світязь

Кожна екосистема може відновлюватися після негативних впливів. Це називають її потенціалом до самоочищення або стійкістю. Проте також вона має свою межу стійкості до впливу зі сторони людини — це ті зміни, після яких повернення до природного стану не можливе. І це не обов'язково має бути безпосереднє механічне втручання чи руйнування, наслідки якого проявляються миттєво. Існує ціла низка опосередкованих антропогенних впливів, негативні результати яких проявляються лише з часом. Серед таких впливів — рекреаційне навантаження. Вплив надмірної кількості відпочивальників на природні екосистеми може бути таким же значним, як і робота екскаватора, просто його ми не побачимо одразу. Лише з роками стане помітно, скільки доріжок витоптали люди, скільки залишили після себе сміття чи знищили оселищ рідкісних видів.

Особливо негативними є впливи надмірної рекреації на водні екосистеми і проявляються вони, зазвичай, на акваторіях, які з берега відслідкувати важко. Проте такі зміни легко помітити за допомогою ДЗЗ, що можна проілюструвати на прикладі результатів дешифрування космічних знімків оз. Світязь.

Озеро Світязь — найбільше та найглибше озеро природного походження в Україні. Завдяки збереженням тут унікальним рослинним та тваринним комплексам, його екосистема охороняється в межах Шацького національного природного парку. Значне міжнародне значення Шацького НПП демонструє той факт, що у 1995 р. його угіддя в рамках Рамсарської конвенції віднесені до територій, що мають міжнародне значення, головним чином, як середовище існування водоплавних птахів, а у 2002 році рішенням 17-ї сесії Бюро координаційного Комітету ЮНЕСКО МАБ парку було надано статус біосферного резервату «Шацький». У 2012 році за програмою ЮНЕСКО створено міжнародний біосферний резерват «Західне Полісся», до складу якого увійшли біосферні резервати «Шацький» (Україна), «Західне Полісся» (Польща) та «Прибузьке Полісся» (Білорусь).

Через вигідне географічне розміщення та багатий природо-ресурсний потенціал озеро має потужний потенціал для розвитку туристичної та рекреаційної сфер.

Озеро Світязь — безстічна водойма, екосистема якої була відносно незмінною протягом тривалого часу, чому сприяла збереженість природних ландшафтів прилеглих територій та традиційні методи господарювання на водозборі. Головним скарбом озера є прозора вода дуже високої якості, що підтримується за рахунок поширених тут заростей водяних рослин — макрофітів [5]. Саме вони перехоплюють, переробляють, накопичують та захоронюють як поживні, так і забруднюючі речовини, що потрапляють в озеро із водозбору, не пускаючи їх далі в екосистему по ланцюгах живлення. Як результат — низький розвиток мікроскопічних водоростей та тварин і висока прозорість води.

Проте останнім часом, завдяки своїй туристичній привабливості, озеро страждає від рекреаційного навантаження (рис. 4.84), що призводить до зниження стійкості озерної екосистеми. Виявлено, що відпочиваючі, заходячи у воду та купаючись, інтенсивно витоптують зарості водних рослин на мілководдях [6]. Безпосередній механічний вплив, викликаний відпочиваючими, веде до деградації (розрідження заростей) чи знищення угруповань

водних рослин, насамперед безпосередньо на мілководдях під берегом (рис. 4.85). А саме вони і виконують роль природного бар'єру і фільтра на шляху впливу стічних вод із суходолу і визначають самоочисний потенціал озера.

Екосистема — це сукупність живих організмів, які пристосувалися до спільного проживання в певному середовищі існування, утворюючи з ним єдине ціле.

Оселище — ділянка простору, на якій поселяється вид або певна група видів.

Основна мета дослідження полягала у виявленні та аналізі перетворень саме цих уразливих мілководних оселищ озера Світязь та вивченні ефективності використання супутникових знімків для оцінки впливу рекреантів на прибережну рослинність озера [7] та можливість прогнозу його наслідків.

Аналіз архівів космічних знімків Landsat TM та ETM+ (липень — серпень) за 30-річний період (1985–2015 рр.) та сезонних серій космічних знімків Sentinel-2 за 2016–2017 рр. дозволив оцінити вплив рекреації на прибережні мілководні оселища озера Світязь. Було виявлено, що зростання кількості відпочивальників призвело до деградації та знищення заростей водних рослин мілководь. Найбільшої трансформації зазнають мілководдя в розпал літнього сезону, проте за наступні осінь — весну структура мілководь відновлюється. Самоочисні механізми озера поки що справляються із існуючим навантаженням. Проте прогнозні оцінки, побудовані на результатах аналізу ДЗЗ, дозволили також припустити, що за умови подальшого зростання кількості рекреантів площі зруйнованих заростей макрофітів збільшаться понад 50%, і екосистема водойми може втратити свою стійкість (рис. 4.85).

Макрофіти — крупні водні рослини (водорості та вищі водні рослини), що видно неозброєним оком. Макрофіти є продуцентами органічної речовини, середовищем існування та місцем нересту для багатьох видів водних тварин.

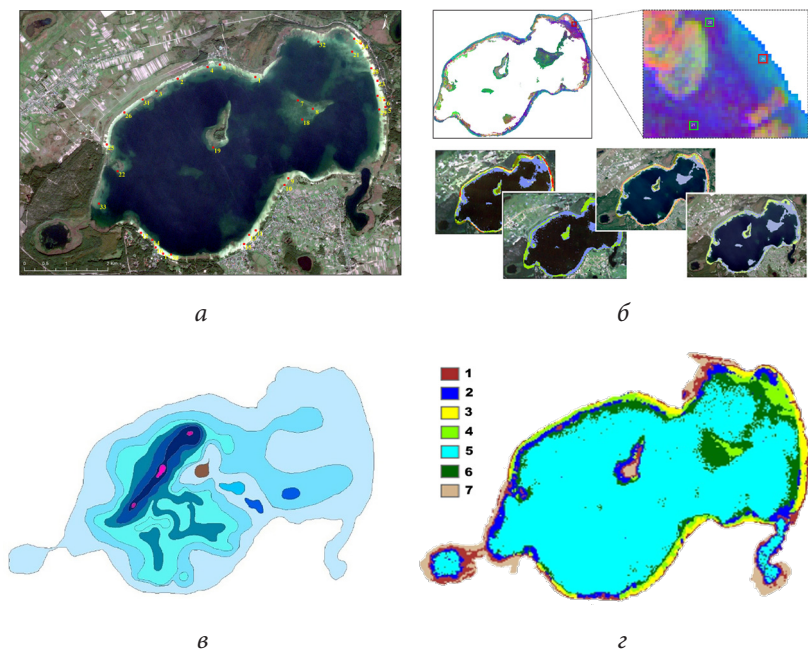


Рис. 4.85. Оцінка деградації мілководних оселищ озера Світязь внаслідок рекреаційного навантаження за допомогою супутникових знімків: *а* — космічний знімок з нанесеними еталонами угруповань макрофітів; *б* — врахування сезонних змін вегетаційного індексу для уточнення класифікації; *в* — карта глибин; *г* — карта типів оселищ отримана в результаті класифікації космічних знімків Landsat. (1 — водно-болотні комплекси; 2 — водні очерети; 3 — деградовані мілководдя; 4 — непорушені мілководдя; 5 — плесо; 6 — рдестові угруповання; 7 — чагарникове болото)

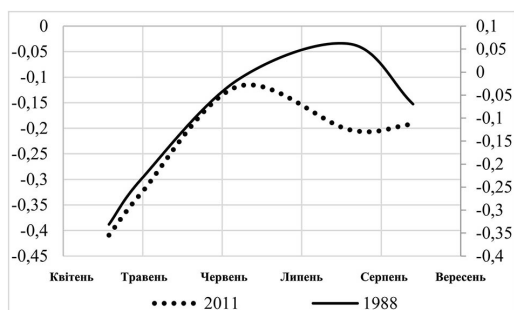


Рис. 4.86. Сезонний хід вегетаційного індексу на мілководдях, які відпочивальниками (рекреантами)

Оцінка екосистемних послуг лісових масивів

За визначенням Конвенції про біологічне різноманіття, **екосистема** — це динамічний комплекс угруповань рослин, тварин і мікроорганізмів, а також їх неживого навколишнього середовища, взаємодіючих як єдине функціональне ціле [8]. Отже, екосистеми є багатофункціональними системами, які здатні забезпечувати ряд корисних для людства прямих та непрямих послуг. Екосистемні послуги є прямим та непрямим внеском екосистем у благополуччя людини. Концепція екосистемних послуг набула розвитку з початку 2000-х років завдяки міжнародній програмі «Оцінка екосистем на порозі тисячоліття» (Millennium Ecosystem Assessment), за результатами роботи якої наразі опубліковано ряд звітів з оцінки наслідків змін в екосистемах та природних ресурсах для життя, здоров'я та добробуту теперішніх та майбутніх поколінь [9].

На початку 2017 року місцеві органи влади Тячівського та Рахівського районів організували громадські слухання, на яких представили план будівництва гірськолижного курорту на території селищних рад Ясині, Чорної Тиси та Лопухового. Згідно із запропонованим планом передбачається будівництво 60 готелів, 120 ресторанів, 33 лижних підйомників та 230 км лижних трас, а також низки торгових центрів, медичних і фітнес-центрів, банків, багатоповерхових стоянок і навіть злітної смуги [10]. Прикладом застосування концепції екосистемних послуг є аналіз та порівняння різних сценаріїв територіальної організації території. Так, на прикладі проекту будівництва гірськолижного курорту «Свидовець» група екологів проаналізували два сценарії територіальної організації території: перший сценарій — забезпечення екосистемних послуг лісовими екосистемами у поточній ситуації; другий сценарій — забезпечення екосистемних послуг територією після вирубки лісу для будівництва гірськолижного курорту. Таким чином, можна розглянути, які екосистемні послуги зменшаться та у якій кількості після втрати лісових масивів на запланованих будівництвом ділянках [11].

На рис. 4.87 *а* представлена карта наземного покриву території дослідження, на якій зеленим кольором позначені межі лісових

масивів. Ці межі визначали за тематичними картосхемами лісових господарств та уточнювали за супутниковими знімками Sentinel-2a, станом на липень 2017 року. На основі картосхеми проекту будівництва курорту також оцифрували межі запланованої інфраструктури курорту та наклали їх на карту наземного покриття території дослідження (рис. 4.87, б). У результаті було визначено, що для будівництва туристичних об'єктів необхідно вирубати 830 га лісу [10].

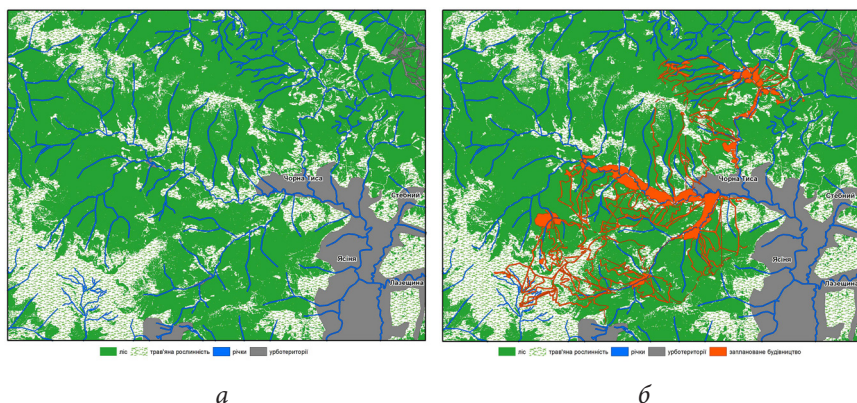


Рис. 4.87. Карти землекористування території:
а — поточна ситуація (сценарій 1); б — вирубка лісу внаслідок
запланованого будівництва (сценарій 2) [11]

Для того, щоб визначити перелік важливих екосистемних послуг лісових екосистем у даному регіоні, у першу чергу були проаналізовані ризики від втрати лісових масивів. Для гірського регіону це, зокрема [11]:

- збільшення ризику виникнення надзвичайних ситуацій, зокрема, повеней та лавин;
- порушення водопостачання, унаслідок зниження водозатримуючої функції лісами, а також суттєво збільшення водозабору для потреб готелів на туристичних комплексах;
- локальний вплив на мікроклімат, зміна температурного режиму;
- втрата додаткового прибутку місцевим населенням від збору ягід та грибів.

На основі визначених ризиків від втрати лісового покриву очевидним став перелік основних екосистемних послуг лісових екосистем у цьому регіоні, а саме: додатковий прибуток від збору грибів, ягід та випасу худоби, підтримка водопостачання, регуляція клімату та пом'якшення дії стихійних лих.

Для картографування екосистемної послуги формування додаткового прибутку у результаті збору ягід та грибів, а також випасу худоби на полонинах, було перекласифіковано карту наземного покриву поточної ситуації (сценарій 1) та карти із запланованим будівництвом (сценарій 2) таким чином, що лісові масиви та полонини отримали значення 1 (тобто екосистемна послуга надається у межах цієї території), а усі інші класи наземного покриву отримали значення 0, тобто послуга не надається. Таким чином отримали дві карти забезпечення послуги формування додаткового прибутку для сценарію 1 та 2 (рис. 4.88) [11].

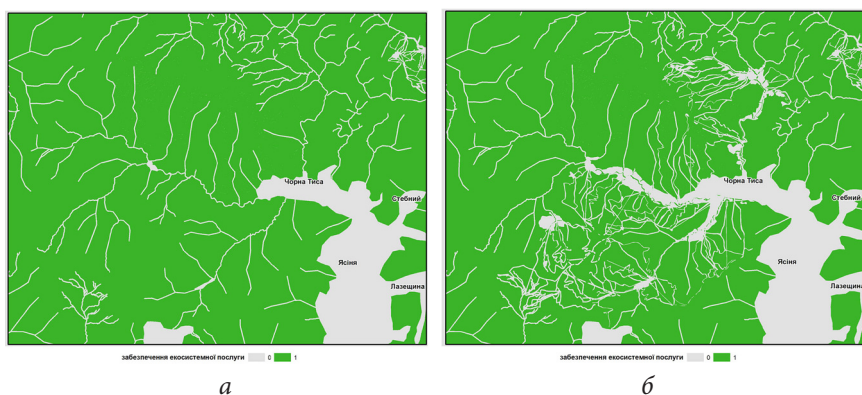


Рис. 4.88. Забезпечення послуги формування додаткового прибутку — збирання ягід, грибів, випас худоби: а — поточна ситуація (сценарій 1); б — вирубка лісу внаслідок запланованого будівництва (сценарій 2) [11]

Аналогічним чином було створено карти забезпечення послуги водопостачання, тільки оскільки лісові масиви підтримують функцію утримання вологи, клас лісових масивів та клас водних об'єктів отримали значення 1, а усі інші класи наземного покриву — 0 (рис. 4.89, а).

Для оцінки регуляції клімату врахували той факт, що дерева з більшою біомасою та більшою кроною будуть мати більше значення для регуляції клімату, акумуляції CO₂ та охолодження. У результаті за супутниковим знімком Sentinel-2a, зробленим улітку 2017 року, було розраховано вегетаційний індекс NDVI, який відображає біомасу та інтенсивність процесу фотосинтезу у рослинних угрупованнях. Таким чином, лісові масиви з високим значенням індексу NDVI отримали значення 3, що відображає рівень забезпечення послуги регуляції клімату, масиви з середнім значенням NDVI — 2, а лісові масиви з низьким NDVI — значення 1 (рис. 4.89 б) [11].

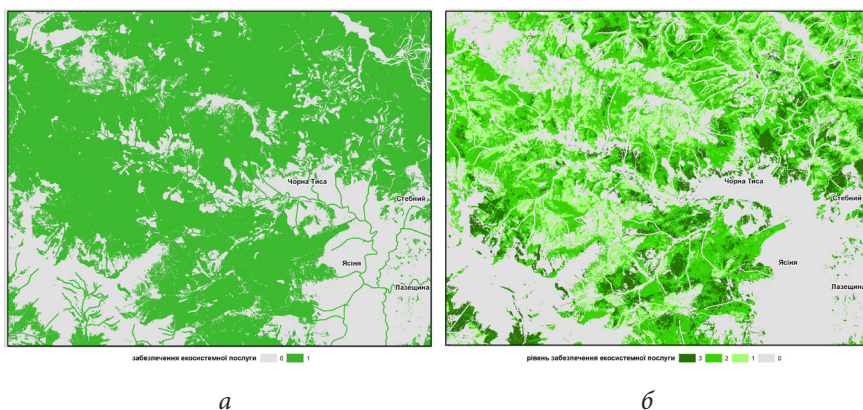


Рис. 4.89. Забезпечення регулюючих послуг (сценарій 1):
а — водопостачання; б — регуляція клімату

Для оцінки послуги пом'якшення дії стихійних лих, таких як повні, та лавини, ризик яких є підвищеним у гірських регіонах, до яких належить територія дослідження, враховували той факт, що найбільшим чином важливі для протидії стихійним лихам лісові масиви на висоті вище 1000 м над рівнем моря, а також лісові масиви на схилах та у межах водоохоронних зон. Таким чином, для даного аналізу спочатку було створено цифрову модель рельєфу території дослідження на основі горизонталей топографічних карт масштабу 1 : 50 000, та створено карту крутизни схилів. На основі карти крутизни схилів були визначені водоохоронні зони — від 50 м до 100 м від межі річки (рис. 4.90, а).

Відповідно, ліси, що знаходилися у межах водоохоронної зони та на висоті вище 1000 м, отримали значення 3, як найвищий рівень забезпечення послуги пом'якшення дії стихійних лих; ліси, що знаходилися на висоті вище 1000 м або у межах водоохоронної зони, — значення 2, та усі інші лісові масиви — значення 1. Усі інші класи наземного покриття отримали значення 0 (рис. 4.90, б) [11].

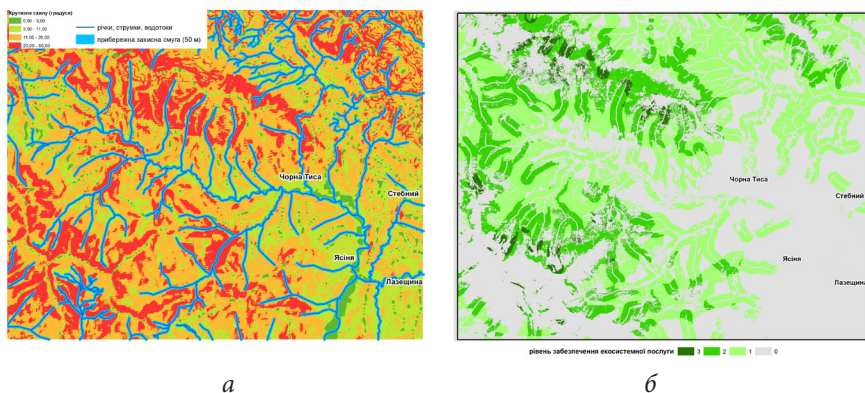


Рис. 4.90. Забезпечення послуги пом'якшення дії стихійних лих (повені, лавини): а — карта кутів нахилу схилу та водоохоронних зон; б — карта забезпечення послуги протидії стихійним лихам (сценарій 1)

На останньому етапі методом картографічного накладання усіх карт забезпечення різних екосистемних послуг, було отримано сумарну інтегровану карту екосистемних послуг що враховує розташування класів наземного покриття, а також їх біофізичний стан, зокрема рельєф та біомасу. Це дозволило виявити природні території у межах території дослідження, що надають найбільшу кількість та найвищу якість важливих для регіону екосистемних послуг (рис. 4.91, а). На карті ці території показані відтінками синього та темно-синього кольорів. Наклавши схему розбудови гірськолижного курорту, було виявлено, що більше 50% території запланованих для будівництва курорту вирубок припадають на особливо цінні з точки зору підтримки екосистемних послуг лісові масиви. Такі зони виділені чорним кольором на рис. 4.91 б [11].

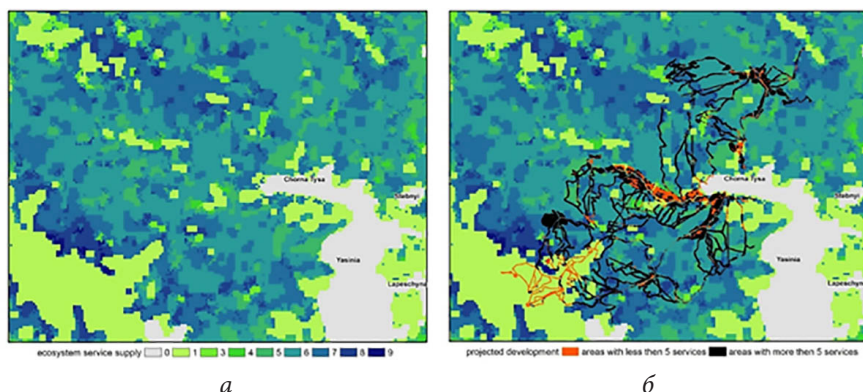


Рис. 4.91. Виявлення особливо цінних ділянок, що потребують охорони: *а* — поточна ситуація; *б* — розташування запланованої вирубки на ділянках, що потребують охорони

Отже, застосування інтегрованої методики оцінки екосистемних послуг на основі представленого методу біофізичного картографування дозволяє аналізувати та порівнювати різні сценарії розвитку території, а також більш ефективно здійснювати оцінку впливу на довкілля (ОВД) різних інфраструктурних проєктів.

Список використаних джерел

1. Загородня С. А. Оцінка екологічного стану природно-заповідних територій засобами геоінформаційних технологій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Загородня Сніжана Анатоліївна; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. — К., 2016. — 21 с.
2. Novokhatska N. Investigation of wetlands state using remote sensing methods / N. Novokhatska, S. Zagorodnia, O. Tomchenko // International youth forum integration processes of the world science in the 21th century — 10–14 Oct. 2016. — Ganja, Azerbaijan, 2016. — P. 147–148.
3. Брусенцова Н. Сучасні технології у вивченні бобрів [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.50northspatial.org/ua/modern-approaches-beaver-studies/>.
4. Brusentsova Nataliya, Pavel Ukrainski The European Beaver (*Castor fiber* L.) in conditions of relict swamps of the National Natural Park Slobozhanskyi, J. Wetlands Biodiversity (2015) 5: 89–98.

5. Зуб Л.М. Оцінка екологічного стану оз. Світязь за багаторічною динамікою рослинних комплексів аквальних біотопів // Природа Західного Полісся та прилеглих територій : збірн. наук. праць. За заг. ред. Ф.В. Зузук. — Луцьк : Волинський нац. ун-т ім.Лесі Українки, 2012. — С. 337–343.

6. Підгородецька Л.В., Зуб Л.М., Федоровський О.Д. Використання інформації космічного геомоніторингу для оцінки екологічного стану водойм на прикладі озера Світязь // Космічна наука і технологія. — 2010. — Т. 16. — № 4. — С. 51–56.

7. Anna Kozlova, Lesya Zub, Olha Tomchenko, Vadym Germanyk Vulnerability assessment of oligo-mesotrophic habitats of Lake Svityaz to recreational load using satellite imagery. Proceedings of 5th European Congress of Conservation Biology. 12th — 15th of June 2018, Jyväskylä, Finland. DOI: 10.17011/conference/eccb2018/107609.

8. Конвенція про охорону біологічного різноманіття від 1992 року [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030.

9. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. — Washington: Island Press, 2005. — 155 p.

10. Bedernichek T., Partyka T., Cherepanyn R., Kuchma T., et al. Environmental impact of the planned ski resort SVYDOVETS: far-reaching consequences on the ecosystems and biodiversity // 5 th Forum Carpathicum «Adapting to Environmental and Social Risk in the Carpathian Mountain Region» (Eger, Hungary, 15–18 October 2018). — P. 74–75.

11. Кучма Т.Л., Ільчук В.П., Ковалів О.І. Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Білокінь О.А. Науково-методичні основи інтегральної оцінки інноваційного забезпечення екосистемних послуг в аграрному секторі. — К., 2018. — 25 с.

4.2.4. Моніторинг надзвичайних ситуацій та оцінка стану довкілля

Ісландія — острівна країна, що утворилася внаслідок вулканічних вивержень. Сотні вулканів розташовано на острові і тридцять з них вважаються активними. Прапор Ісландії — червоний хрест у білому обрамленні на синьому фоні символізує розпечену лаву вулканів, вкриту льодовиками та оточену океаном. Країна постійно знаходиться у зоні ризику природних



стихий: вулканів, ураганів, зледенінь, землетрусів — однак це зовсім не зупиняє сотні тисяч туристів, які щороку відвідують Ісландію, та 300 тисяч ісландців, які постійно живуть на острові. Якщо дію стихійного лиха не можна відвернути, то за ефективної системи моніторингу за надзвичайними ситуаціями можна адаптуватися та зменшувати негативні наслідки їх дії. Для збільшення обізнаності про необхідні заходи для зниження небезпеки лих Генеральна Асамблея ООН встановила відзначати 13 жовтня як Міжнародний день зменшення небезпеки лих.

Складовими ефективною системи моніторингу мають бути: прогноз, своєчасне виявлення, спостереження за розвитком та оцінка наслідків надзвичайних ситуацій (НС). Дані дистанційного зондування Землі — один з найшвидших способів отримати інформацію про стан території до початку та після дії надзвичайної ситуації, щоб заздалегідь підготуватися, а також ефективно спланувати заходи з реабілітації території [1]. На кожному з етапів моніторингу дані дистанційного зондування можуть бути корисними, а саме для:

- Виявлення та спостереження за **розвитком дій стихійних лих**, особливо таких, які охоплюють великі території, наприклад, тайфуни, цунамі, вулкани, посухи та ін.
- Моніторинг **поширення забруднюючих речовин внаслідок аварій** чи техногенних катастроф, наприклад, відстеження руху димової хмари від пожежі на нафтовій станції.
- Картографування та **оцінка наслідків** дії надзвичайних ситуацій, наприклад, визначення, скільки гектарів лісу пошкоджено пожежею.
- **Оновлення картографічних даних про район** дії надзвичайної ситуації.
- Аналіз **цифрової моделі рельєфу**, отриманого за супутниковими даними, такими як ASTER GDEM, SRTM чи LIDAR, зокрема для 3D моделювання потенційно небезпечних об'єктів чи поширення стоку і забруднюючих речовин у річках чи прогнозу паводків.
- Використання даних про стан природних об'єктів як складову для **моделей прогнозу** та поширення дії надзвичайної ситуації.

- Створення **карт ризику** та ситуаційних схем для планування операції з ліквідації наслідків та реабілітації території.
- Виявлення **локальних НС**, таких як паводки, пожежі, селі, оповзні, просадки, ерозія та локальні аварії.
- Виявлення ознак **наближення стихійних лих**, моніторинг погодних умов, наприклад льодової обстановки, або виявлення деформації кратерів вулканів, що передуює виверженню.

Однак, не зважаючи на багато можливостей, дані ДЗЗ також мають багато обмежень, пов'язаних з тим, що часто дані, які мають достатнє просторове розрізнення, мають незадовільну частоту зйомки, і навпаки.

Виявлення активних пожеж

Виявлення пожеж за даними ДЗЗ базується на пошуку **теплових аномалій** на супутникових знімках. Алгоритм, який застосовується для виділення «гарячих пікселів», враховує значення каналів у видимому, ближньому, середньому та тепловому інфрачервоному діапазонах та виявляє місця, що різко відрізняються від оточення. Це дозволяє фіксувати не лише відкриті пожежі, коли видно відкрите полум'я (рис. 4.92), але й, наприклад, низові чи підземні лісові пожежі, під час яких горить лісова підстилка або торф [2, 3].



Рис. 4.92. Масштабна пожежа на о. Борнео, зафіксована приладом MISR/Terra 14 жовтня 2015 р. [4]

Очевидно, що для оперативного моніторингу пожеж необхідно використовувати знімки з **високою частотою зйомки (високим темпоральним розрізненням)** — щонайменше щодня. До таких знімків належать дані сенсора MODIS, що розміщений на супутниках Terra та Aqua та дані сенсора VIIRS супутника Suomi-NPP. Знімки теплових аномалій за даними MODIS зберігаються у вигляді продуктів MOD14/MYD14 з просторовим розрізненням 1 км, а дані VIIRS — з розрізненням 375 м. Для поширення даних про пожежну обстановку у глобальному масштабі Університет Maryland у співпраці з NASA та Продовольчою організацією ООН розробили систему FIRMS (The Fire Information for Resource Management System — Інформація про пожежі для системи управління природними ресурсами). Це сайт, де можна візуалізувати та вільно завантажувати дані з тепловими аномаліями у векторному форматі (рис. 4.93) за останні 24 години, 48 та 78 годин, а також за 7 днів [5].

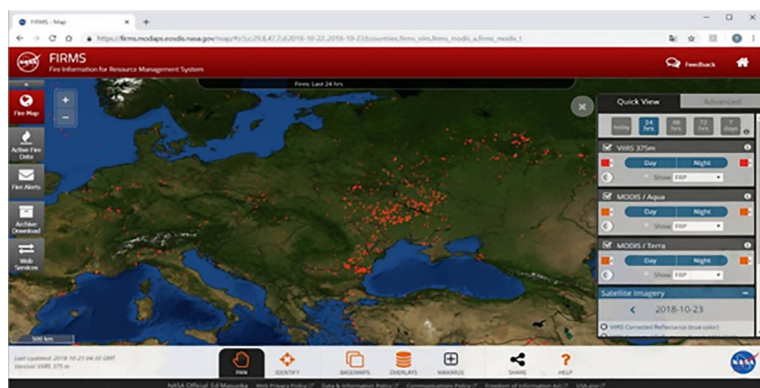


Рис. 4.93. Інтерфейс онлайн-системи FIRMS для відображення теплових аномалій за останні 24 години [5]

Однак, враховуючи досить низьке **просторове розрізнення** знімків MODIS та VIIRS, створені на їх основі карти теплових аномалій можуть використовуватися лише для попередньої оцінки пожежної ситуації, виявлення потенційних осередків пожеж для загальної оцінки викидів CO₂ чи інших горючих речовин

на глобальному рівні (рис. 4.95). Невеликі осередки пожеж, які, окрім того, часто приховані хмарами чи димом, можуть залишитися невиявленими, а також деякі антропогенні об'єкти можуть помилково виділятися як пожежі. З іншого боку, дані високого просторового розрізнення, такі як Sentinel-2, мають нижчу періодичність зйомки, що не дозволяє використовувати їх для оперативного аналізу ситуації, а лише для оцінки наслідків пожеж, тобто визначення площ, що згоріли (детальніше про це у пункті 4.2.1. Лісознавство).

На рис. 4.93 пожежна обстановка за 23 жовтня 2018 р. у центральній частині України виглядає катастрофічною і дуже вирізняється на фоні усієї Європи. При наближенні до місць **осередків пожеж** стає помітно, що майже усі ці пожежі локалізовані на полях, тобто вони є наслідком поширеної в Україні практики осіннього випалювання стерні на полях. Це підтверджується також знімком Sentinel-2 на одну з таких територій, де добре видно два клуби диму на полі поблизу с. Іванівка Кобеляцького району Полтавської області (рис. 4.94).

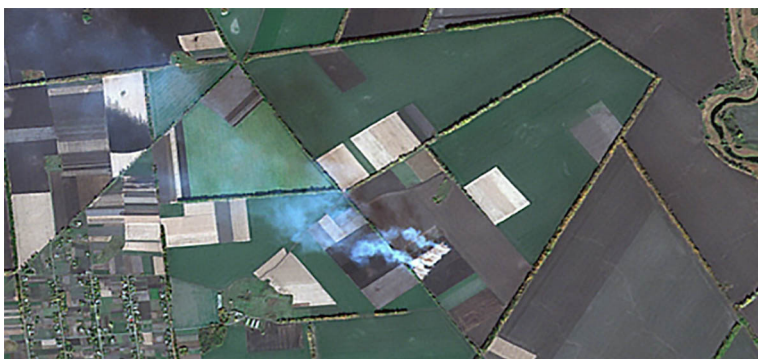


Рис. 4.94. Осередки випалювання рослинних залишків на полі на супутниковому знімку Sentinel-2, зробленому 19 жовтня 2018 р.

Випалюють стерню для того, щоб швидко очистити поле та нібито збагатити ґрунт поживними мікроелементами, що містяться у золі. Однак при цьому гинуть корисні ґрунтові мікроорганізми, що якраз і відповідають за засвоєння мікроелементів рослинами, втрачається ґрунтова волога і родючість ґрунту відповідно знижується.

Окрім того, завдяки сервісу GWIS (Global Wildfire Information System — Глобальна інформаційна системи пожеж) програми Копернікус Європейського космічного агентства та Єврокомісії на ці пожежі можна подивитися з точки зору викидів таких газів, як діоксид сірки (SO_2), оксид азоту (NO), метан та інші парникові гази (рис. 4.95). Це дозволяє комплексно оцінити негативний вплив від цієї поширеної та забороненої законодавством практики випалювання залишків рослин на полях.

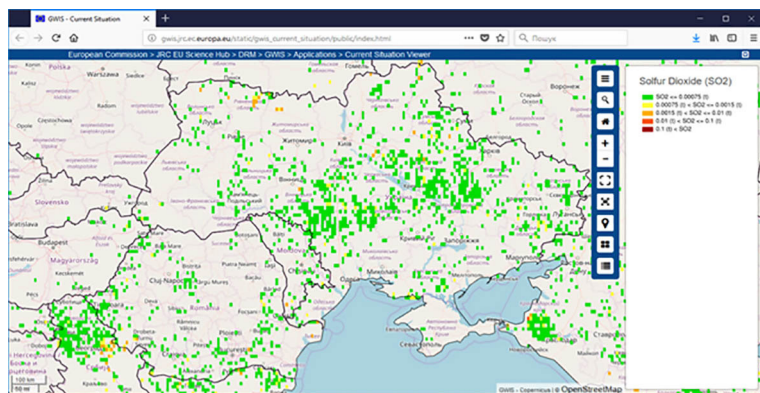


Рис. 4.95. Карта емісій SO_2 , спричинених пожежами за період 16–23 жовтня 2018 р. за даними GWIS (Global Wildfire Information System — Глобальної інформаційної системи пожеж [6])

Моніторинг виверження вулканів

У квітні 2010 року на півдні Ісландії сталося потужне виверження вулкану Ейяф'ятлайокютль (Ейяфйотль), що тривало півтора місяці, викидаючи у повітря велику масу попелу. Це на тривалий час повністю зупинило авіасполучення над Європою. Для реагування на такі стихійні лиха, як вулкани, надзвичайно важливим є постійний моніторинг розвитку надзвичайної ситуації у глобальному масштабі, забезпечити який може власне супутниковий моніторинг.

Для моніторингу **поширення хмари вулканічного пилу** можуть застосовуватися дані видимого діапазону, подібно до того, як може відстежуватися рух диму при пожежі (рис. 4.96, 4.97), зйомка

в ультрафіолетовому діапазоні, зокрема такими супутниками, як OMI, GOME-2A, GOME-2B, OMPS, а також в інфрачервоному діапазоні супутниками AIRS, IASI-A, IASI-B, S-NPP/VIIRS та ін.



Рис. 4.96. Фотографія виверження вулкану Ейяфйотль, зроблена 17 квітня 2010 р. Автор Árni Friðriksson [7]

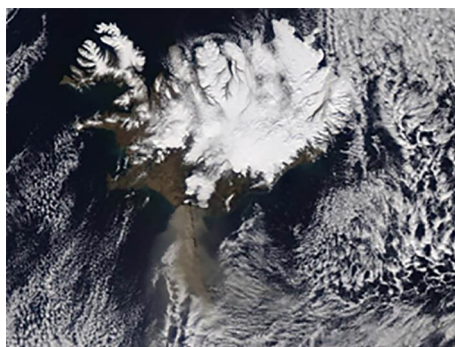


Рис. 4.97. Виверження вулкана Ейяфйотль на знімку MODIS, знятого 17 квітня 2010 р. [8]

Falconieri та співавтори (2018), працюючи над удосконаленням системи моніторингу вулканічного пилу, на прикладі виверження вулкана Ейяфйотль порівняли два встановлені алгоритми класифікації зображень: DDA AIRS (виявлення пилу за даними сенсора AIRS) та за даними сенсора SEVIRI супутника Meteosat Second Generation. Дослідження показало, що на деяких стадіях

активності вулкана результат двох алгоритмів був подібний (2010/05/07), а у деяких випадках результати суттєво різнилися через те, що різні алгоритми виявляли різні специфічні атмосферні умови. Тому важливо поєднувати різні доступні методи супутникової зйомки для отримання більш точного результату (рис. 4.98) [9].

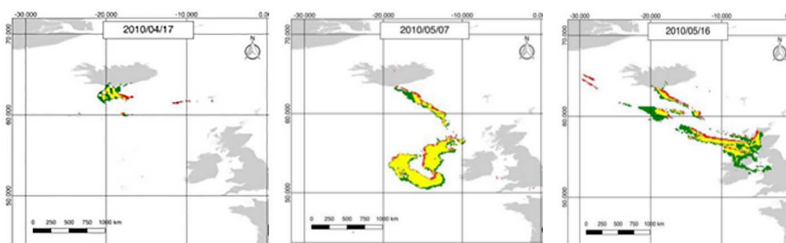


Рис. 4.98. Порівняння різних методів моніторингу поширення вулканічного пилу внаслідок виверження вулкана Ейяфйотль: пилова хмара виявлена двома методами (жовтий колір), дані отримані за допомогою сенсора SEVIRI (червоний колір) та дані DDA AIRS (зелений колір) [9]

Сенсор TROPOMI супутника Sentinel-5P, вимірюючи концентрації аерозолей та діоксиду сірки, також дозволяє відстежувати тривалість виверження вулкана та поширення вулканічної хмари (рис. 4.99).

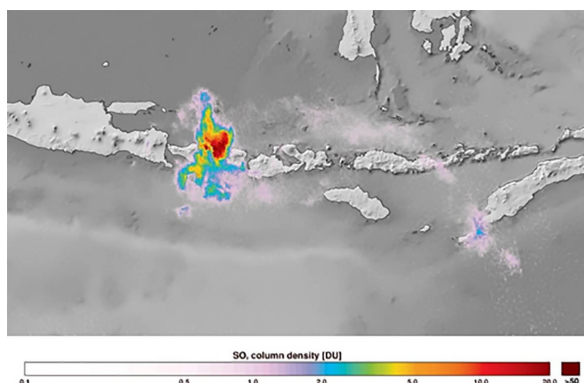


Рис. 4.99. Поширення вулканічного пилу внаслідок виверження вулкана на о. Бали за даними супутника Sentinel-5P, 1 грудня 2017 р. [10]

Європейська служба підтримки авіаційного контролю (SACS — European Support Aviation Control Service) використовує Систему сповіщення про вулкани (Volcanic Alert System), що діє у режимі, наближеному до реального часу на основі даних ДЗЗ (рис. 5) [11]. Також діє розроблена NASA/NOAA та Міжнародною організацією цивільної авіації Система сповіщення про вулкани NOAA/NESDIS [12].

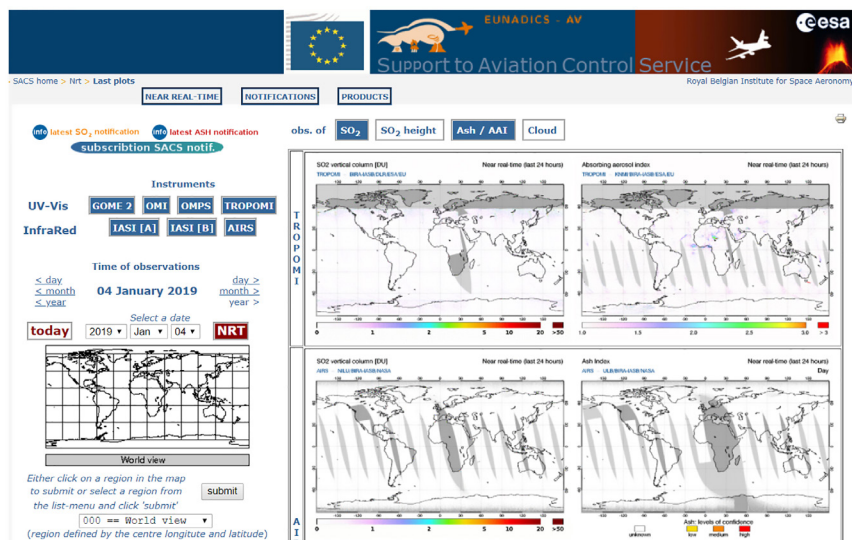


Рис. 4.100. Інтерфейс Системи сповіщення про вулкани (Volcanic Alert System) [11]

У базі даних Глобальної програми з вулканізму (Global Volcanism Program) міститься інформація про 1434 вулкани, виверження яких відбулося у період Голоцену (останні десять тисяч років). Щороку відбувається близько 50 вивержень, тому, окрім моніторингу поширення вулканічних викидів, важливим є моніторинг ознак активації вулкана [13]. Такими ознаками можуть бути слабкі землетруси чи рух земної поверхні, спричинені зміною тиску магми. Як правило, це проявляється за декілька днів або тижнів до початку виверження. Виявити такі **деформації земної кори** можна за допомогою методу **інтерферометрії радарних супутникових**

даних (InSAR технології). Це геодезичний метод, що базується на накладанні двох чи більше знімків, зроблених радаром з синтезованої апертурою для виявлення відмінностей у фазі хвиль. Технологія потенційно може вимірювати міліметрові деформації поверхні у проміжку часу від декількох днів до років, у залежності від часового проміжку між зображеннями. Вона застосовується для моніторингу і прогнозу геофізичних природних катастроф, таких як землетруси, зсуви, вулкани, а також при будівництві для моніторингу просядачок чи порушення стабільності конструкцій.

Застосовуючи метод InSAR, Юн та співавтори (2007) дослідили вулканічну деформацію за 12 днів до початку виверження вулкана Санто-Томас в Еквадорі, що відбулося у 2005 році (рис. 4.101). За три години до початку виверження було зафіксовано землетрус, що викликав міграцію магми. Отже, це приклад того, як на ранній стадії можна виявляти активацію вулкана, перші ознаки якої були помітні ще за 8 днів до початку виверження [14].

Моніторинг нафтових розливів у морі

Розлив нафти у море найчастіше виникає під час транспортування або видобутку нафти. Незважаючи на те, що під час аварій на нафтових танкерах, бурових платформах чи підводних трубопроводах у море одразу виливається велика кількість нафти, це складає лише 25% від загальної кількості нафтового забруднення морів, в той час як 75% припадає на звичайний процес транспортування — несанкціоновані викиди кораблями баластових вод, протікання машинного відділення та ін. [15, 16]. Нафта, потрапляючи у море, утворює на поверхні моря плівки різної товщини, і за відсутності вітру, хвиль та течій 1 м^3 сирої нафти розтікається у пляму радіусом 50 м за півтори години [17]. Ліквідація такого забруднення може тривати декілька місяців, а то й років.

Служби моніторингу прибережних зон та водоймищ при дослідженні параметрів навколишнього середовища, як правило, використовують морські або авіаційні засоби спостереження, які не завжди можуть охопити всю територію, навіть у межах

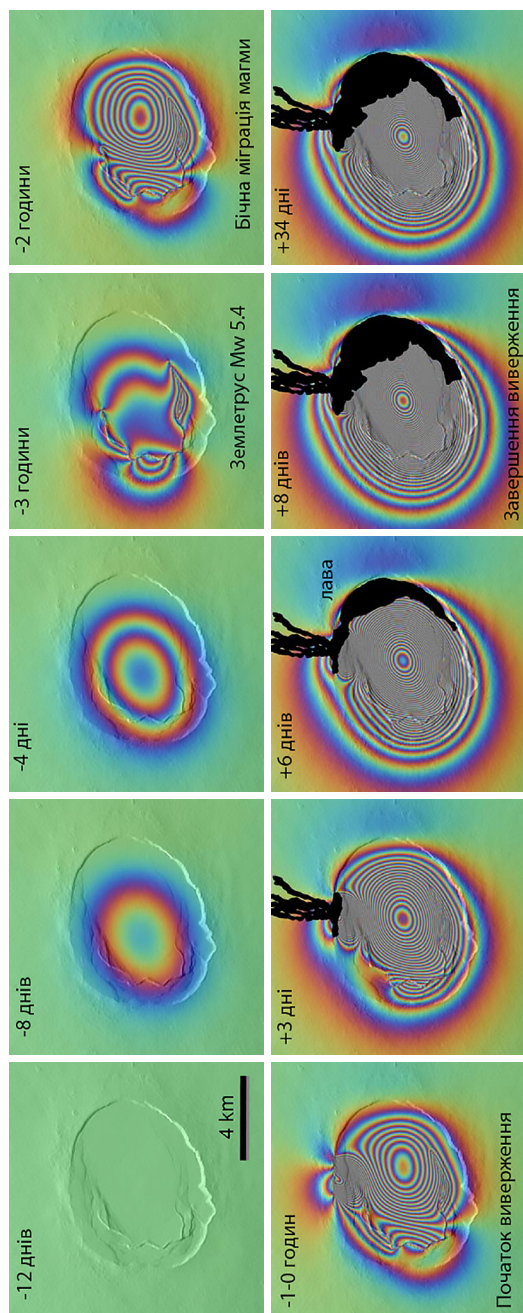


Рис. 4.101. Інтерферограми вулканічної деформації упродовж 46-денного періоду активності вулкана Санто-Томас в Екваторі у 2005 році [14]

територіальних вод, і, крім того, обмежені світловим днем та потребують відповідних погодних умов. Ефективним засобом моніторингу нафтового забруднення у морі є радіолокаційне зондування, яке здатне реєструвати варіації поверхневого хвилювання моря (рис. 4.102). Оскільки нафтова плівка на поверхні моря приглушує хвилі, то це відображається на радіолокаційних знімках на фоні незабрудненої поверхні моря, у вигляді чорних плям [16].

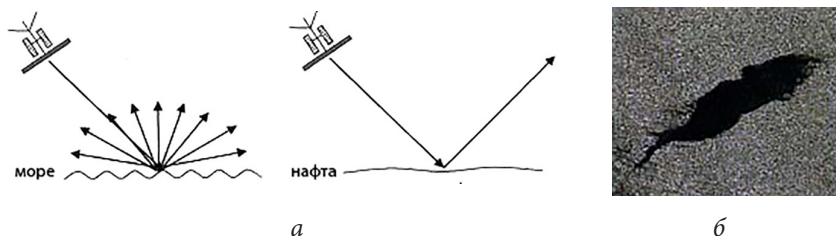


Рис. 4.102. Виявлення нафтових плям на радіолокаційних супутниках

Однак подібний ефект «темних зон» на радіолокаційних знімках може спричинювати ряд інших океанічних та морських явищ: атмосферний фронт, вітрова тінь, течії, штилеві зони, дощ, підводна топографія, каналізаційні стоки, крига, внутрішні хвилі та ін. (рис. 4.103).

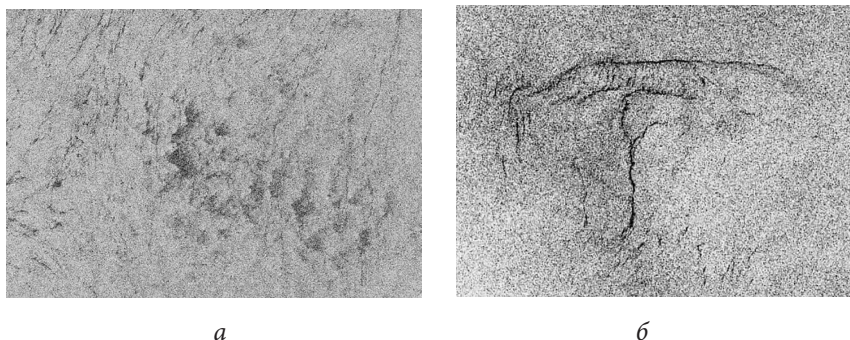


Рис. 4.103. Приклади плям природного генезису на знімках ERS-2: структури, утворені неоднорідностями поля вітру, течій та температури води морської поверхні [16]

Тому при аналізі темних зон на знімку потрібно брати до уваги таку інформацію [16]:

- період року (ймовірність утворення криги);
- швидкість вітру (при швидкості вітру менше 2–3 м/с хвилювання відсутнє, а при швидкості більше 10–15 м/с нафтова пляма змивається з морської поверхні);
- форму ймовірного розливу (нафтовий розлив, як правило, має чіткий край (рис. 4.104, а-б);
- розмір ймовірного нафтового розливу (великі ділянки є або зонами з низьким вітром, або природною нафтою);
- географічне розташування (наявність берега чи судна поблизу (рис. 3, в), глибина та ін.).

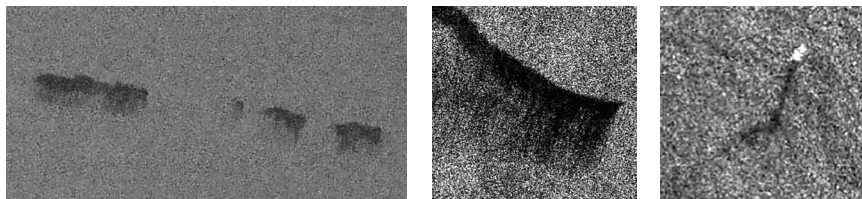


Рис. 4.104. Приклади нафтових розливів на радіолокаційних знімках ERS-2 [16]

Виконуючи спільне дослідження з аналізу нафтового забруднення Чорного моря, Центр спільних досліджень Європейської Комісії (Joint Research Center), ДНБЦ «Природа» та Одеський національний університет проаналізували радіолокаційні супутникові знімки ERS-2 та ENVISAT за період 2000–2004 рр. і створили карту виявлених нафтових розливів у Чорному морі (рис. 4.105). На її основі засобами просторового моделювання в ГІС було створено карту щільності нафтового забруднення у Чорному морі (рис. 4.106).

Результат дослідження також засвідчив, що переважно усі розливи знаходяться у межах транспортних та нафтотранспортних шляхів. Карта щільності нафтових розливів відображає зони ризику нафтового забруднення у Чорному морі. Зараз для таких досліджень можна використовувати радіолокаційні дані Sentinel-1

з розрізненням 10–20 м, які поширює безкоштовно Європейське космічне агентство, та комерційні дані з розрізненням 3 м і менше, наприклад з супутників Radarsat і TerraSAR.

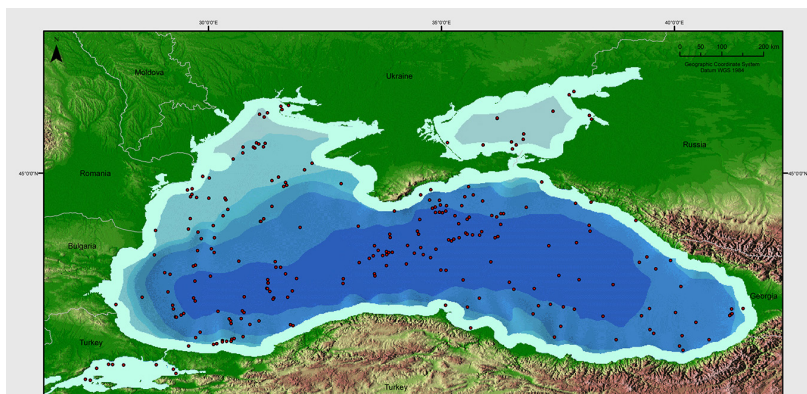


Рис. 4.105. Карта нафтових розливів, виявлених на радіолокаційних супутникових знімках ERS-2 та ENVISAT за період 2000–2004 рр. [18]

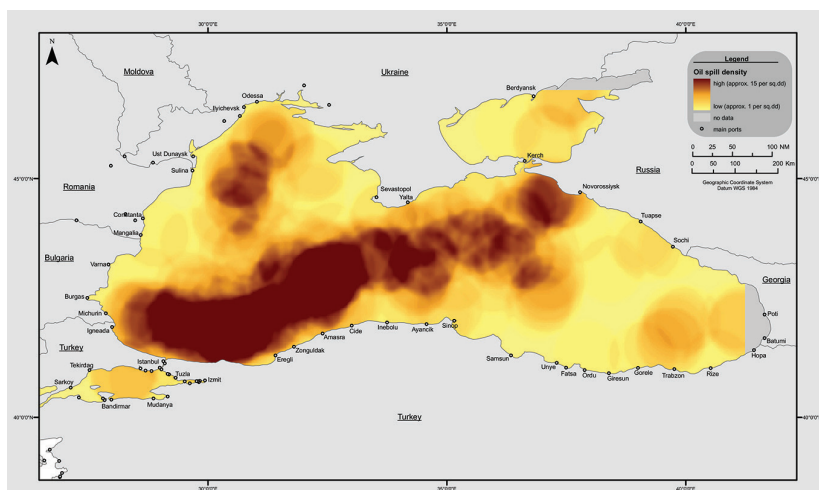


Рис. 4.106. Карта щільності нафтових розливів, виявлених на радіолокаційних супутникових знімках ERS-2 та ENVISAT за період 2000–2004 рр. [18]

Моніторинг паводкової ситуації

Повінь (водопілля) — відносно тривале і значне збільшення водності річки, що викликає підйом її рівня та супроводжується виходом вод з межених русла і затопленням заплави. Зазвичай, повторюється щороку в один і той самий сезон (від березня до червня)

Межень — найнижчий рівень води в річці за певний період (літній чи зимовий), коли річки в основному живляться підземними водами.

Паводок — підняття рівня води в річці в результаті швидкого танення снігу, від сильних дощів. На відміну від повені, паводки виникають нерегулярно та характеризуються інтенсивним короточасним збільшенням рівня води.

В Україні найхарактерніше для річок Полісся, Дніпра. Пік водопілля в Україні припадає на березень — початок квітня.

У випадку моніторингу таких надзвичайних ситуацій, як паводки, важливо відстежувати процес їхнього розвитку для ефективної оцінки загрози та визначення необхідної кількості засобів для евакуації чи протидії (наприклад, скільки потрібно автобусів для евакуації людей з частини міста, яка знаходиться у зоні ризику). Тому важливо використовувати максимально можливу кількість доступних знімків з високим чи середнім просторовим розрізненням, як радарних, так і оптичних, наприклад, знімки Sentinel-1 (радіолокаційні) та Sentinel-2 (оптичні, мультиспектральні). Однак досить часто паводки супроводжуються тривалими дощами, тому отримати оптичні знімки під час дії паводка майже неможливо, і в такому випадку ефективними будуть радіолокаційні дані, які можна «бачити» крізь хмари. Якщо ж є радарні та оптичні знімки, зроблені в один і той же день, доцільно виконати операцію **злиття зображень** перед початком їх дешифрування. Оскільки радіолокаційна зйомка відображає варіації структури поверхні, таке поєднання даних дозволяє чіткіше підкреслити межу між водною поверхнею та землею, а також виділити підтоплені, але не вкриті повністю водою зони, що досить важко виявити лише за оптичними знімками.

Приклад застосування супутникових знімків RapidEye для моніторингу паводка на річці Прут поблизу міста Чернівці у липні 2008 року показано на рис. 4.107.



Рис. 4.107. Знімок RapidEye, зроблений 27 липня 2008 року на час завершення паводка на р. Прут (блакитний контур — максимальний розлив річки; білий контур — русло річки до початку паводка на початку липня).

Джерело: архів ТОВ «Центр ГІС Аналітик»

Для моніторингу водопілля необхідно виконати наступні заходи:

- підготувати цифрову карту або геоприв'язану мозаїку супутникових знімків на регіон повені для забезпечення оперативної прив'язки нових знімків, дешифрування та ідентифікації об'єктів на них;
- підготувати векторну карту русла річки в меженний період, уточнену за даними актуальних супутникових зйомок; карта русла річки необхідна для оперативної оцінки територій і площі підтоплення.

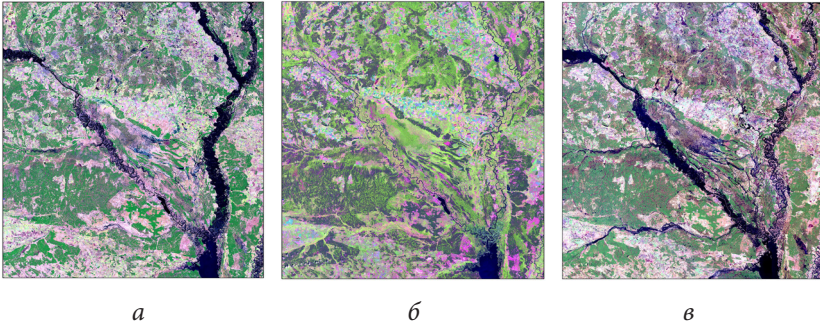


Рис. 4.108. Моніторинг повеней р. Прип'ять (ліворуч)
та р. Дніпро (праворуч): *а* — зйомка 14.04.2005;
б — зйомка в межень; *в* — зйомка 23.04.2013

На космічних знімках рис. 4.108 відображено процес наповнення водою річок Дніпро та Припять у період весняного водопілля (вода ідентифікується за насиченим синім кольором). Для того щоб відобразити наслідки повені та швидко оцінити площі розливів на космознімках, необхідно розрахувати індекс зволоженості території (NWI). Нижче наведено приклад результату таких розрахунків для р. Десна (рис. 4.109).

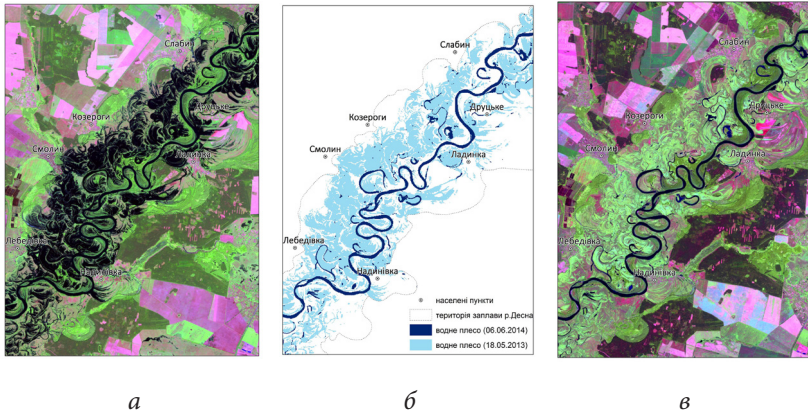


Рис. 4.109. Покриття території заплави р. Десна водою під час повені:
а — фрагмент K3 Landsat станом на 18.05.2013;
б — картосхема розливу повені створена на основі космічних знімків;
в — фрагмент K3 Landsat станом на 06.06.2014

Виявлення та моніторинг сміттєзвалищ

За даними Міністерства екології та природних ресурсів України, щорічно загальний обсяг побутових відходів збільшується на 50 млн м³ або 14 млн т (300–400 кг за рік на 1 особу), а промислових відходів — на 175 млн м³, з яких переробляють та належним чином утилізують не більше 2–3%. Більша ж частина цього об'єму, яка не потрапляє на переробку або не підлягає знищенню, вивозиться на місцеві полігони та звалища твердих промислових відходів (ТПВ). Сьогодні в Україні існує близько 4500 полігонів ТПВ, більшість з яких є несанкціонованими [19].

Проект «Інтерактивна мапа сміттєзвалищ»

Важливого значення в Україні останнім часом набуває проблема моніторингу та вирішення питання стихійних сміттєзвалищ, але систематичний пошук їх розташування, дослідження стану та складу відходів не проводився жодною з відповідних служб. Поки у вересні 2016 року Міністерство екології та природних ресурсів України не запустило проект «Інтерактивну мапа сміттєзвалищ» [20], яка надає можливість громадянам надіслати звернення з геоприв'язкою та фотоматеріалами щодо виявлених місць стихійних сміттєзвалищ. Ці звернення Мінприроди зобов'язане оперативно передавати до місцевих органів влади, які відповідатимуть за своєчасну ліквідацію виявлених сміттєзвалищ [20]. Інформація щодо статусу опрацювання звернення та відповідних заходів місцевих органів влади відображається у персональному кабінеті. Окремими шарами на карті показані дані реєстру місць видалення відходів та місць стихійних сміттєзвалищ, пункти прийому вторсировини та ін. (рис. 4.110).

Вирішенню завдання моніторингу сміттєзвалищ ефективно допомагає використання даних ДЗЗ, які характеризуються високою оперативністю, регулярністю, точністю, можливістю проведення ретроспективного аналізу. Використання ДЗЗ із залученням інструментарію геоінформаційних систем дозволить не тільки здійснювати моніторинг локалізації, а і темпів накопичення побутових відходів та сформувати відповідну базу даних (рис. 4.111).

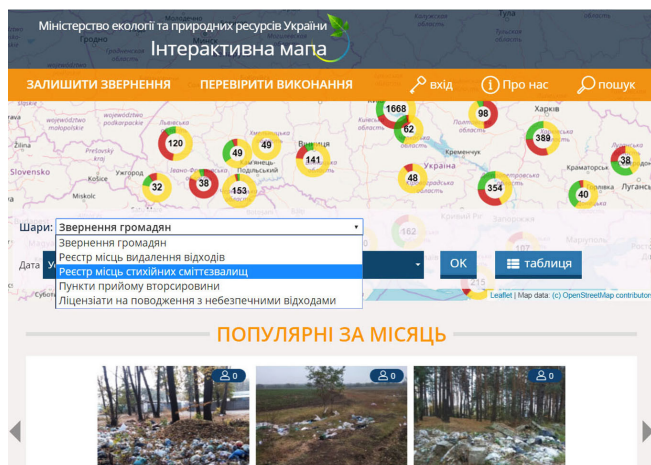


Рис. 4.110. Інтернет-ресурс «Інтерактивна мапа» Мінприроди [20]

Для створення і наповнення бази даних несанкціонованих сміттєзвалищ застосовувались три основні джерела інформації про них: обробка даних ЗМІ за темою нелегальних сміттєвих полігонів та їх ліквідацію, заявки на карті Міністерства екології та природних ресурсів України та на основі аналізу зображень Google Earth.

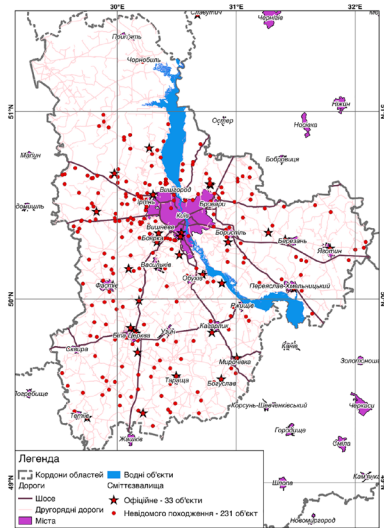


Рис. 4.111.
Карта розміщення
сміттєзвалищ на території
Київської області, виявлених
за даними ДЗЗ

Для несанкціонованих звалищ база даних наповнена наступними розділами: джерело інформації про звалище, переважаючий тип сміття, статус (ліквідоване чи активне), зображення та коментар про особливості звалища, наприклад, про наявність небезпечних відходів та ін. Створені мапи дозволяють кожному жителю міста Києва, а також відповідним органам влади визначити місцезнаходження стихійних і офіційних полігонів міста Києва для їх подальшого моніторингу [21].

За допомогою ДЗЗ та ГІС також можна проводити більш специфічні та детальніші дослідження:

- дослідження стану окремих ділянок (черг) сміттєзвалищ, картографування цих об'єктів та прилеглої території. На космічних знімках добре розрізняється внутрішня «структура» звалищ: відпрацьовані ділянки, вкриті шаром ґрунту; ділянки, де в даний час складаються відходи; водойми для збору фільтрату чи окремі ділянки, де застоюються забруднені води; під'їзні шляхи, канали тощо [22];
- виявлення явищ задимлення і самозаймання сміття;
- вивчення динаміки зміни меж території звалищ (рис. 4.112).



а

б

Рис. 4.112. Приклади збільшення стихійного сміттєзвалища, виявленого на космічних знімках в районі с. Горенка Києво-Святошинського району: а — 2007 р.; б — 2011 р.

Полігони й звалища сміття, виконуючи роль природоохоронних споруд шляхом захоронення та біодеградації твердих побутових відходів (ТПВ), самі є джерелами негативного впливу

на навколишнє середовище. До негативних видів впливу слід віднести виведення значних земельних площ із господарського використання на довгостроковий термін, забруднення ґрунтів та порушення їх структури, забруднення атмосферного повітря, підземних і поверхневих вод, пожежонебезпечність тощо. Найсерйозніша проблема — забруднення ґрунтових вод. Просочуючись крізь шари захоронених відходів, дощова вода «збагачується» різними хімічними речовинами, які утворюються у процесі розкладання сміття, утворюючи небезпечний фільтрат (рис. 4.113).

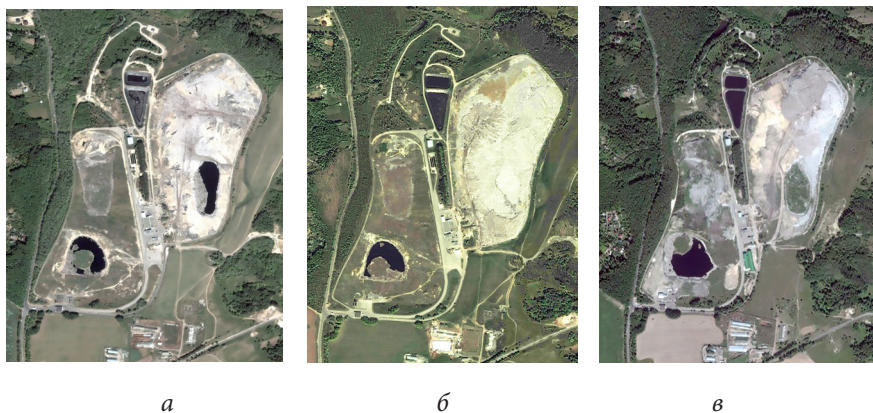


Рис. 4.113. Полігон ТПВ № 5 (БАТ «Київспецтранс») на космічних знімках з ресурсу Google Earth (загальний вигляд та динаміка заповнення резервуара для зберігання фільтрату):
а — 2007 р.; б — 2011 р.; в — 2018 р.

За результатами аналізу космічних знімків з ресурсу Google Планета Земля, встановлено, що найбільша кількість неофіційних сміттєзвалищ у Київській області розташована на території сільськогосподарських угідь та узлісь поблизу населених пунктів. Можна впевнено прогнозувати, що біля кожного другого населеного пункту є несанкціоноване сміттєзвалище. Окрім цього, виходячи з особливостей рельєфу області, сміттєзвалища найчастіше розташовані на схилах ярів [23].

Пом'якшення наслідків надзвичайних ситуацій — волонтерський проект «Hot OSM»

Кожен може прямо зараз долучитися до зменшення негативних наслідків дії стихійних лих завдяки гуманітарному проекту Hot OSM. Для того, щоб гуманітарні місії і служби з протидії надзвичайним ситуаціям могли швидко та ефективно спланувати операції з порятунку, важливо мати детальну картографічну інформацію про місцевість. Найголовнішою тут є інформація про те, скільки будинків, та, відповідно, людей, може знаходитися у зоні дії стихійного лиха та потребувати допомоги, а також, які є можливі шляхи добирання до населених пунктів, що можуть залишатися неушкодженими. У багатьох країнах світу, особливо у важкодоступних місцях, гірських регіонах, де найчастіше можуть відбуватися землетруси, чи на невеликих островах, де може статися тайфун, все ще залишається багато білих плям на картах. Сотні людей світу (з картографічним досвідом та без) допомагають заповнити такі білі плями, оцифровуючи будинки та дороги за супутниковими знімками у проєкті OSM [24].

Проект OSM (<https://www.openstreetmap.org>), що дослівно перекладається як відкрита вулична карта, це онлайн карта, дані якої кожен може вільно завантажити у вигляді цифрових шарів та відредагувати чи додати інформацію на карту. Проект був заснований у 2004 році Стівом Костом за прототипом Вікіпедії і зараз включає більше 2-х млн учасників, які створюють картографічні дані. Усі зміни перевіряють найактивніші учасники спільноти OSM, які добре знають територію і за яку відповідають, тому помилкові зміни одразу вилучають з карт.

Для швидкого реагування на стихійні лиха гуманітарна команда OSM створила сторінку <https://tasks.hotosm.org>, на якій, натиснувши «Start Mapping», можна побачити відкриті завдання, до яких можна долучитися (рис. 4.114).

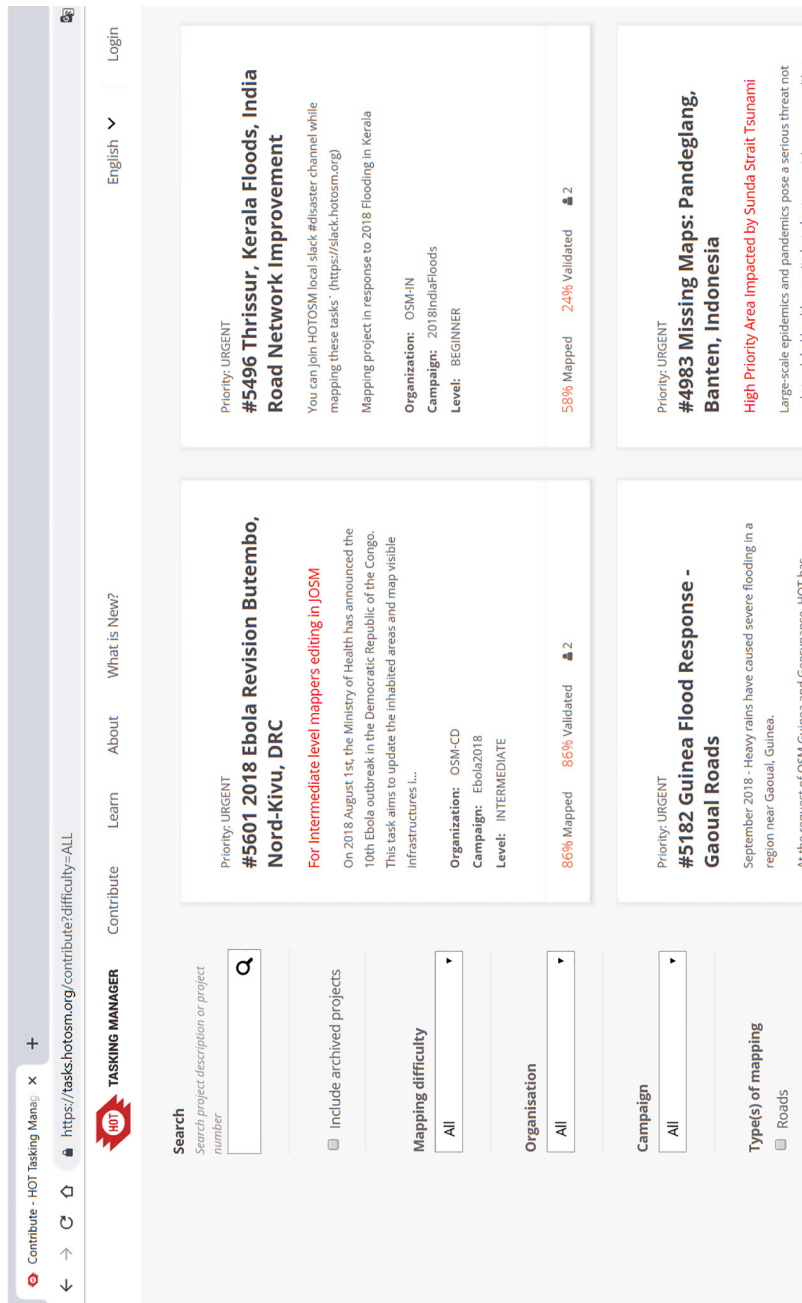


Рис. 4.114. Інтерфейс для вибору завдання для картографування території у зоні дії надзвичайної ситуації

На сторінці для вибору завдання для редагування у вигляді блоків відображаються відкриті завдання, де вказано пріоритет (наскільки термінове завдання), назва, короткий опис та регіон, а також який рівень досвіду потрібний для картографування (початківець чи досвідчений користувач). Для зручності уся територія розбита на невеликі квадрати, як правило, такого розміру, щоб їх можна було векторизувати за 10 хвилин. Для участі у проекті потрібно зареєструватися у OSM, вибрати проект, прочитати, що потрібно цифрувати (як правило, це будинки або дороги), вибрати квадрат і закартувати потрібні об'єкти. На сторінці <https://tasks.hotosm.org/learn> розміщені 2-хвилинні відеоуроки про те, як картувати дороги і будинки та загалом працювати з проектом. Реагуючи на глобальні надзвичайні ситуації, які стаються у світі, або просто для того, щоб корисно провести час разом, студенти і учні організовують картографічні марафони, коли зустрічаються разом, щоб картографувати певну територію (рис. 4.115).



Рис. 4.115. Студенти Університету Замбії беруть участь у картографічному марафоні [25]

Список використаних джерел

1. Bello O., Aina Y. Satellite remote sensing as a tool in disaster management and sustainable development: towards a synergistic approach / *Procedia — Social and Behavioral Sciences* 120 (2014): 365–373. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.02.114.
2. Kaufman, Y. J., C. O. Justice, L. P. Flynn, J. D. Kendall, E. M. Prins, L. Giglio, D. E. Ward, W. P. Menzel, and A. W. Setzer. «Potential global fire monitoring from EOS-MODIS.» *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012) 103, no. D24 (1998): 32215–32238.
3. Giglio L., Schroeder, W., Justice, C. O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178, 31–41.
4. NASA/GSFC/LaRC/JPL–Caltech, MISR Team [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA11218>.
5. The Fire Information for Resource Management System — Інформація про пожежі для системи управління природними ресурсами [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map>.
6. Global Wildfire Information System — Глобальна інформаційна система пожеж [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: http://gwis.jrc.ec.europa.eu/static/gwis_current_situation/public/index.html.
7. Виверження вулкану Ейяфйотль, зроблена 17 квітня 2010 р. Фотографія Árni Friðriksson [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Eyjafjallaj%C3%B6kull#/media/File:Eyjafjallajokull-April-17.JPG>.
8. Виверження вулкану Ейяфйотль на знімку MODIS, знятого 17 квітня 2010 р. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://www.nasa.gov/images/content/445797main_Iceland.A2010107.1320.250m.jpg.
9. Falconieri, A.; Cooke, M. C.; Filizzola, C.; Marchese, F.; Pergola, N.; Tramutoli, V. Comparing Two Independent Satellite-Based Algorithms for Detecting and Tracking Ash Clouds by Using SEVIRI Sensor. *Sensors* 2018, 18, 369.
10. Sentinel-5P captures bali volcanic eruption [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/12/Sentinel-5P_captures_Bali_volcanic_eruption.

11. Системи сповіщення про вулкани (Volcanic Alert System) [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://sacs.aeronomie.be>.

12. Система сповіщення про вулкани NOAA/NESDIS [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/vaac>.

13. Global Volcanism Program, 2013. Volcanoes of the World, v. 4.7.4. Venzke, E (ed.). Smithsonian Institution. Downloaded 23 Oct 2018. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>.

14. Sang-Ho Yun — The effect of DESDynI mission on volcano deformation modeling // proceedings Advances in the Science and Applications of SAR Interferometry (ESA ESRIN), 30th November — 4th December 2009, Frascati, Italy [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://earth.esa.int/workshops/fringe09/participants/483/pres_483_Yun.pdf.

15. Ferraro G., Tarchi D., Fortunu Jo., Sieber A. (2004) JRC Experience in the Field of Satellite Monitoring of Accidental and Deliberate Marine Oil Pollution. — Joint Research Centre, Via E. Fermi, 1, I-21020 ISPRA (VA) Italy. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://serac.jrc.it/midiv/pdf/eurisy.pdf>.

16. Кучма Т. Л. Картографування нафтових розливів у Чорному та Азовському морях за даними дистанційного зондування Землі // Вісн. геодез. та картогр. — 2006. — № 2. — С. 26–29.

17. Иванов А. Ю., Востоков С. В., Ермошкин И. С. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря). — Исследование Земли из космоса — 2004. — № 4. — С. 82–92.

18. ESA-IAF report on the ERUNET project (European-Russian-Ukrainian GMES Network for Monitoring of Oil Spills and Oil & Gas Pipelines). — 2006. — С. 82.

19. Доманська М. В. Ідентифікація несанкціонованих звалищ побутових відходів за матеріалами ДЗЗ / М. В. Доманська, С. П. Боднар. — Часопис картографії, 2013. — Вип. 7. — С. 114–126.

20. Інтерактивна мапа сміттєзвалищ [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://ecomara.gov.ua/>.

21. Фарафонова Є. В. Наукова робота МАН на тему Дослідження сміттєвих полігонів міста Києва за допомогою створення спеціалізованої ГІС.

22. Геодинамічне районування території Київської області з використанням космічних знімків (для аналізу полігонів захоронення відходів) [Готинян В.С., Арістов М.В., Томченко О.В., Миколенко Л.І.]. — К. : ДНВЦ «Природа». [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://www.pryroda.gov.ua/index.php?newsid=57>.

23. Тішаєва А.М., Томченко О.В. Локалізація та виявлення закономірностей просторового розміщення сміттєзвалищ на території Київської області за даними ДЗЗ / А.М. Тішаєва, О.В. Томченко // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03–06 жовтня 2016 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. — К. : ТОВ «Видавництво «Юстон», 2016. — С. 105–109.

24. OpenStreetMap [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.openstreetmap.org>.

25. Студенти Університету Замбії беруть участь у картографічному марафоні [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://twitter.com/Marena_B/status/1039367602538270721.

ВИСНОВКИ

Інформатизація торкнулася усіх сфер життя сучасної людини. Інформаційні технології (ІТ) відкривають нову сторінку для розвитку наукового знання людей, даючи доступ до актуальної просторової інформації. Зростання масиву і швидкості обміну інформацією призводить до підвищення вимог до її обробки та якості, зберігання та структурування. Простежується певна тенденція до збільшення залежності від можливостей швидкого пошуку потрібної інформації та її відображення у зручному форматі.

Освітня сфера, маючи на меті підготувати молоде покоління до життя у другій половині ХХІ століття, не може стояти осторонь. Ключовою умовою інформатизації освіти є підготовка фахівців, здатних не лише орієнтуватися в навколишньому світі, а й отримувати, аналізувати та створювати нову інформацію.

На сьогоднішньому ринку праці різко збільшується попит на спеціалістів у галузі ДЗЗ. Сучасні умови праці вимагають від молодого покоління ретельного і продуманого управління ресурсами, володіння новими засобами та методами обробки й аналізу просторової інформації, оперативного розв'язання завдань управління, оцінки та контролю різноманітних динамічних процесів. Стрімке удосконалення апаратного та програмного арсеналів ДЗЗ, гіперспектральних зйомок тощо, вимагає підготовки фахівців, які б не лише володіли наявними технологіями та алгоритмами, але й були готові швидко та якісно опанувати нову інформацію.

ДЗЗ вивчають у школах, коледжах та університетах багатьох країн світу. У результаті проблеми підготовки конкурентоспро-

можних кадрів для економіки ХХІ століття кількість спеціалістів, обізнаних із ДЗЗ, на світовому ринку праці постійно зростає. Крім того, ДЗЗ дозволяють постійно моніторити поточний стан земної поверхні різного масштабу за допомогою як пілотованих, так і безпілотних літальних апаратів. Висока роздільна здатність знімків дозволяє ефективно і швидко приймати рішення у різних сферах життя людини, в тому числі: кліматології, гідрології, геології, лісознавстві, агрономії, урбаністиці тощо.

Отже, застосування ДЗЗ в освітній галузі посилює діяльнісний аспект навчання. Учні самостійно здобувають нові знання, отримують початкову підготовку і досвід практичної діяльності з використанням сучасних ІТ — ДЗЗ.

ДОДАТКИ

**Етапи історії
становлення дистанційного зондування Землі
(на основі Campbell, 1996 з доповненнями
від ЦАКДЗ ІГН НАН України) [1–3].**

1800	Відкриття інфрачервоного випромінювання Гершелем.
1839	Початок практики фотографування.
1847	Інфрачервоний спектр, показаний А. Х. Л. Фізо та Ж. Б. Л. Фуко для поділу властивостей видимого світла.
1850–1860	Фотографування з повітряних куль.
1873	Теорія електромагнітної енергії, яку розвинув Джеймс Клерк Максвелл.
1909	Фотографування з літаків.
1910–1920	Перша світова війна: повітряна розвідка.
1920–1930	Розвиток та початок застосування аерофотографії та фотограмметрії.
1930–1940	Розвиток радарів у Німеччині, США, Великій Британії.
1940–1950	Друга світова війна: застосування невидимих частин електромагнітного спектра; освіта людини при отриманні та інтерпретації аерознімків.
1950–1960	Військові дослідження та розробки.
1956	Кольвелловські дослідження з визначення захворювань за інфрачервоним фотографуванням.
1960–1970	Перше застосування терміна «дистанційне зондування».
1965	«Алмаз-1 Б» (Росія) серія орбітальних станцій, розроблених для задач Міністерства оборони СРСР. Роботи зі створення станції почалися в середині 60-х років, у період жорсткого протистояння зі США.
1970–2000	Супутники FSW (Китай).
1972	Запуск супутника Landsat-1 (США).
1970–1980	Швидкий прогрес в обробці цифрових зображень.

1979–1993	Супутники «Ресурс-Ф1» (Росія) використовуються під назвою «Космос-1127».
1982–1993	Супутники «Ресурс-О1» (Росія) будувалися на базі модернізованої космічної платформи СП-II («Ресурс-УКП»). Платформа СП-II була розроблена і введена в штатну експлуатацію в складі метеорологічної системи «Метеор-3».
1980-ті	Розвиток гіперспектральних сенсорів.
1984	Супутник Landsat-5 (США).
1987	«Алмаз-Т (Росія), який отримав позначення «Космос-1870».
1988	Супутник IRS-1D (Індія).
1991	Модифікований автоматичний варіант зі значно підвищеними характеристиками бортового обладнання був виведений на орбіту під назвою «Алмаз-1 А».
1993	Супутник Landsat-6 (США).
1995	Супутник Radarsat-2 (Канада).
1995	Супутник ERS-2 (ESA).
1998	Супутник SPOT-4 (Франція).
1999	Супутник Landsat-7 (США).
1999	Супутник Ikonos-2 (США).
1999	Супутник CBERS-1 (Китай, Бразилія).
1999	Супутник InSat-2E (Індія).
1999	Супутник «Океан-О» (Росія, Україна).
2000	Супутник NOAA-16 (США).
2000	Супутник EO-1 (США).
2000	Супутник Eros-A (Ізраїль).
2001	Супутник QuickBird-2 США).
2001	Супутник «Метеор-3 М» (Росія, Україна).
2002	Супутник SPOT-5 (Франція).
2002	Супутник MeteoSat-8 (ESA).
2003	Супутник IceSat (США).
2003	Супутник UK-DMC (Велика Британія).
2004	Супутник RocSat-2 (Тайвань).
2004	Супутник «Січ-1 М» (Україна).

2005	Супутник TopSat (Велика Британія).
2005	Супутник «Монитор-Э» (Росія).
2006	Супутник Radarsat-1 (Канада).
2006	Супутник Eros-B (Ізраїль).
2006	Супутник KompSat-2 (Корея).
2006	Супутник MetOp-1 (ESA).
2006	Супутник «Ресурс-ДК» (Росія).
2007	Супутник ALOS (Японія).
2007	Супутник EgyptSat-1 (Єгипет).
2007	Супутник Cosmo-SkyMed (ESA) фінансується Італійським міністерством досліджень та Міністерством оборони.
2011	Супутник «Електро-Л» (Росія).
2011	Супутник «Січ-2» (Україна).
2012	Супутник SPOT-6 (Франція).
2012	Супутник RISAT-1 (Індія).
2013	Супутник Landsat-8 (США).
2013	Супутник InSat-3D (Індія).
2014	Супутник SPOT-7 (Франція) був проданий Азербайджанському космічному агентству Azercosmos.
2015	Супутник Sentinel- 2A (ESA).
2016	Супутник CartoSat-2 (Індія).
2016	Супутник Sentinel-3A (ESA).
2016	Супутник Sentinel-1B (ESA).
2016	Супутник WorldView-4 (США).
2016	Супутник TanSat (Китай).
2017	Супутник Sentinel-2B (ESA).
2017	Супутник Venta-1 (Латвія).
2017	Супутник «Канопус-В-ИК» (Росія).
2017	Супутник FORMOSAT-5 (Тайвань).
2017	Супутник Sentinel-5p (ESA).

2017	Супутник JPSS-1 (США).
2017	Супутник GCOM-C (Shikisai) (Японія).
2017	Супутник SLATS (Tsubame) (Японія).
2018	Супутники «Гаоцзин-1 03» (SuperView-3) та «Гаоцзин-1 04» (SuperView-4) (Китай).
2018	Запущено в космос особистий автомобіль Ілона Маска Tesla Roadster. Поки що це перший автомобіль в космосі.
2018	Супутник PAZ (Іспанія).
2018	Супутник TESS (США).
2018	Супутник Sentinel-3B (ESA).
2018	Супутник InSight (США).
2018	Супутники GRACE-FO 1 та GRACE-FO 2 (США).
2018	Супутник ADM-Aeolus (ESA).
2018	Супутник MetOp-C (ESA).

1. Campbell J. B. Introduction to Remote Sensing. Second edition / Virginia Polytechnic Institute and University. — London, 1996.

2. Мичак А. Г., Філіпович В. Є., Приходько В. Л. та ін. Аерокосмічні дослідження геологічного середовища / Мінприроди України. Державна геологічна служба. — К., 2010. — 246 с.

3. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К., 2006. — 357 с.

Сучасні супутникові системи низького та середнього просторового розрізнення

п. н.	Назва супутника	Агентство (установа)	Назва сенсора	Застосування
1	Aqua	NASA/JAXA/INPE	AIRS, AMSR-E, AMSU-A, CERES, HiRDLS, HSB, MODIS	Біологічні і фізичні процеси, температура поверхні суші і океану
2	Aquarius	CONAE/NASA	Aquarius L-Band Scatterometer, Aquarius L-Band Radiometer	Солоність поверхні океану, параметри довкілля та атмосфери
3	Aura	NASA/NSOFMI/NIVR/UKSA	HiRDLS, MLS (EOS-Aura), OMI, TES	Хімія і динаміка атмосфери Землі від землі через стратосферу
4	Biomass	ESA	P-Band SAR	Моніторинг лісової біомаси
5	CBERS 4	INPE/CRESDA	DCS, IRS, MUX, PAN (CBERS), WFI-2	Природні ресурси, моніторинг довкілля, спостереження за наземною поверхнею
6	CryoSat-2	ESA	DORIS-NG, Laser Reflectors (ESA), SIRAL	Товщина льоду
7	UK- DMC2	UKSA	SLIM-6	Картографування, моніторинг сільськогосподарських культур, екологічних ресурсів, ліквідація наслідків стихійних лих

п. н.	Назва супутника	Агентство (установа)	Назва сенсора	Застосування
8	Envisat	ESA	AATSR, DORIS-NG, MERIS, MIPAS, MWR, RA-2, SCIAMACHY	Фізична океанологія, поверхня землі, снігу і льоду, хімія атмосфери, динаміка атмосфери
9	ERS-1	ESA	AMI/SAR/ Wave, AMI/ Scatterometer, ATSR	Природні ресурси, фізична океанографія, геодезія, наземні та атмосферні дослідження
10	ERS-2	ESA	AMI/SAR/ Wave, AMI/ Scatterometer, ATSR/M	Природні ресурси, фізична океанографія, геодезія, наземні та атмосферні дослідження
11	GEDI (on board ISS)	NASA	LIDAR	Лісовий покрив, вуглецевий цикл
12	GOCE	ESA	EGG, GPS (ESA), Laser Reflectors (ESA), LRR, SSTI	Циркуляції океану, геодезія, фізика твердої Землі
13	GOSAT	JAXA/MOE/ NIES	TANSO-CAI, TANSO-FTS	Спостереження за парниковими газами
14	Jason-1	NASA/CNES	DORIS-NG, JMR, LRA, POSEIDON-2 (SSALT-2), TRSR	Фізична океанологія, геодезія, сили тяжіння, моніторинг клімату, морська метеорологія

п. н.	Назва супутника	Агентство (установа)	Назва сенсора	Застосування
15	Landsat-8	USGS/NASA	TIRS	Природні ресурси, спостереження за наземним покриттям, моніторинг довкілля, сільське та лісове господарство
16	MetOp-A	EUMETSAT/NOAA/CNES/ESA	IASI	Метеорологія, кліматологія
17	MetOp-B	EUMETSAT/NOAA/CNES/ESA	IASI	Метеорологія, кліматологія
18	Meteosat-10	EUMETSAT/ESA	GERB, MSG Comms, SEVIRI	Метеорологія, кліматологія
19	OCO-2	NASA	Spectrometer	Вимірювання вуглекислого газу
20	OrbView-2	GeoEye	SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor)	Глобальні океанічні біооптичні властивості
21	OSTM/Jason-2	NASA/NOAA/CNES/EUMETSAT	AMR, DORIS-NG, GPSP, JMR, LRA, POSEIDON-3	Фізична океанологія, геодезія, сила тяжіння, клімат, морська метеорологія
22	Proba-V	ESA	Vegetation Imaging multi-spectral radiometers	Картографування наземного покриття землі і розвиток рослинності
23	SMOS	ESA	Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis (MIRAS)	Картографування вологості ґрунту і солоності океану

п. н.	Назва супутника	Агентство (установа)	Назва сенсора	Застосування
24	Swarm	ESA	ACC, ASM, EFI, GPS Receiver (Swarm), Laser Reflectors (ESA), STR, VFM	Геомagnetне поле Землі
25	Sentinel-3	ESA	OLCI, SLSTR, SRAL	Океанічні процеси
26	SPOT-4	CNES	DORIS (SPOT), VEGETATION	Наземний покрив, сільське і лісове господарства, моніторинг довкілля
27	SPOT-5	CNES	DORIS-NG (SPOT), VEGETATION	Наземний покрив, сільське і лісове господарства, моніторинг довкілля
28	Terra	NASA/METI/CSA	MODIS, MOPITT, MISR, ASTER, CERES	Біологічні і фізичні процеси, температура поверхні суші і океану, вимірювання CO в тропосфері
29	Topex/Poseidon	NASA/CNES	DORIS, LRA, POSEIDON-1 (SSALT-1), TMR, TOPEX	Фізична океанологія, геодезія, гравітація
30	Sentinel-5P	ESA	Tropomi	Склад атмосфери і служби контролю якості повітря

**Супутникові системи
високого просторового розрізнення**

П. н.	Назва супутника	Агентство (установа)	Назва сенсора	Застосування
1	Sentinel-1	ESA	C-Band SAR	Дані С-діапазону (радіолокаційні дані) для оперативного використання, в т. ч. цифрові моделі рельєфу, наземний покрив
2	Sentinel-2	ESA	MSI (Sentinel-2)	Підтримка моніторингу земель та пов'язаних послуг
3	SPOT-4	CNES	HRVIR	Наземний покрив, сільське і лісове господарства, цифрові моделі рельєфу, моніторинг довкілля
4	SPOT-5	CNES	HRG, HRS	Наземний покрив, сільське і лісове господарства, цифрові моделі рельєфу, моніторинг довкілля
5	Envisat	ESA	ASAR	Фізична океанологія, поверхня землі, снігу і льоду, хімія атмосфери, динаміка атмосфери
6	ERS-1	ESA	AMI/SAR/ Image	Природні ресурси, фізична океанографія, геодезія, наземні та атмосферні дослідження

п. н.	Назва супутника	Агентство (установа)	Назва сенсора	Застосування
7	ERS-2	ESA	AMI/SAR/ Image	Природні ресурси, фізична океанографія, геодезія, наземні та атмосферні дослідження
8	Landsat-7	USGS/ NASA	Enhanced Thematic Mapper +	Природні ресурси, наземний покрив, сільське і лісове господарства, моніторинг довкілля
9	Landsat-8	USGS/ NASA	OLI	Природні ресурси, наземний покрив, сільське і лісове господарства, моніторинг довкілля
10	Terra	NASA/ METI/CSA	ASTER	Наземний покрив, сільське і лісове господарства, моніторинг довкілля

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

(укладено на основі

Словника із дистанційного зондування Землі /

Під ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — Київ: СМП «АВЕРС»,
2004. — 170 с.)

АЕРОЗНІМОК, аэроснимок, aerial photo — Знімок об'єкта зондування, отриманий за допомогою технічного засобу ДЗЗ (знімальної системи), встановленого на платформі повітряного базування (повітряному ЛА).

АЗИМУТ, азимут, azimuth — Кут, який орієнтує стосовно напрямку на північ. Розрізняють астрономічний А. — кут в горизонтальній площині, що відрховується від північного напрямку астрономічного меридіана за годинниковою стрілкою до заданого напрямку; геодезичний А. — кут в площині, дотичній до еліпсоїда, який відлічується від північного напрямку геодезичного меридіана даної точки за годинниковою стрілкою до заданого напрямку; магнітний — кут в горизонтальній площині, який відлічується від північного напрямку магнітної стрілки за годинниковою стрілкою до заданого напрямку. Магнітна стрілка відхиляється від астрономічного меридіана на величину магнітного схилення. Магнітне схилення до сходу приймається з позначкою «+», до заходу — з позначкою «-». А. може змінюватися від 0 до 3600. А. в напрямку з даної точки на іншу називають прямим А., а з іншої точки на дану — зворотнім.

АЛЬБЕДО, альбедо, Albedo — Величина, яка характеризує здатність поверхні відбивати (розсіювати) випромінювання, яке падає на неї. Розрізняють істинне, або ламбертове А., яке співпадає з коефіцієнтом дифузного (розсіяного) відбиття, та видиме А. Істинне А. — відношення потоку, розсіяного поверхнею у всіх напрямках, до потоку, що на неї падає. Видиме А. — відношення яскравості поверхні, яка освітлюється паралельним пучком променів, до яскравості абсолютно білої поверхні, яка розташована нормально до променів і має

істинне А., яке дорівнює одиниці. В задачах ДЗЗ користуються, переважно, поняттям істинного А.

БАГАТОСПЕКТРАЛЬНЕ ЗНІМАННЯ, *многоспектральная съемка, мультиспектральная съемка, multispectral survey, multi-band survey* — Процес знімання за допомогою іконічних технічних засобів ДЗЗ, результатом якого є отримання багатоспектрального зображення.

БАГАТОСПЕКТРАЛЬНЕ ЗОБРАЖЕННЯ, *многоспектральное изображение, мультиспектральное изображение, multispectral image, multi-band image* — Сукупність зображень, на кожному з яких відображена одна й та ж сцена і які зроблені одномоментно (синхронно у часі), але отримані в різних частинах (зонах) електромагнітного спектра випромінювань.

ВЕКТОРИЗАЦІЯ, *векторизация, vectorization* — Процес виконання растрово-векторного перетворення просторових даних. Оскільки просторова інформація у растровому вигляді представлена в образах, то процес перетворення полягає у розпізнаванні образів та складається з двох основних частин: векторизації зображення та топологічної чи нетопологічної структуризації просторової інформації. У більш загальному випадку — створення векторної моделі даних або векторного представлення.

ВИБІРКА НАВЧАЛЬНА, *выборка обучающая, training sample* — Сукупність зображень об'єктів з вказуванням класу належності кожного об'єкта, яка використовується для навчання системи розпізнавання (інтерпретування) зображень. Як правило, до В.н. входять зображення об'єктів двох і більше класів.

ВИДИМЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ; СВІТЛО, *видимое излучение, свет, visible radiation* — Випромінювання, яке може безпосередньо викликати зорове відчуття. Границі спектральної області видимого випромінювання умовні і можуть вибиратися різними для різних застосувань. Нижня границя вважається, як правило, між 380 і 400 нм, верхня — між 760 і 780 нм.

ВИПРОМІНЮВАННЯ, *Излучение, radiation, emission of radiation* —

1. Електромагнітне В. — випускання або розповсюдження електромагнітних хвиль (за класичною теорією випромінювання) або процес переходу квантової системи з одного енергетичного стану до іншого з випусканням або поглинанням фотонів (за квантовою теорією випромінювання);

2. Радіоактивне В. — висилання альфа-частинок, бета-частинок і гамма-проміння атомними ядрами при їхньому радіоактивному перетворенні.

ВИСОТА ПОЛЬОТУ, *высота полета, flight altitude* — Відстань між супутником та поверхнею Землі, яка вимірюється по лінії з'єднання супутника з центром Землі.

ВИЯВЛЕННЯ, *обнаружение, acquisition* — Процес або результат пошуку та сприйняття об'єктів на початковому етапі дешифрування знімків (зображень). При цьому на зображенні локалізуються ділянки, де найбільш імовірно розташовані об'єкти. При сприйнятті об'єктів їх сутність не з'ясовується: зоровий аналізатор дешифрувальника ніби визначає відношення сигнал/шум на кожній ділянці зображення і порівнює його величину з деяким пороговим значенням. Формально вирішується задача імовірнісного віднесення ділянки зображення до однієї з двох категорій: «сигнал» або «шум». Імовірність виявлення збільшується зі зростанням контрасту, кутового розміру об'єкта, часу розглядання зображення.

ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН, *выявление изменений, change detection* — Виявлення по різночасових знімках змін яскравості та місцеположення об'єктів дешифрування, наприклад, при моніторингу забруднень навколишнього середовища.

ВІДБИТТЯ, *отражение, reflection* — Повернення випромінювання об'єктом без зміни частот складових його монохроматичних випромінювань.

ВІЗУАЛІЗУВАННЯ ДАНИХ, *визуализация данных, data visualization* —

1. В ГІС: проектування та генералізація зображень, іншої графіки на пристроях відображення (переважно, на екрані дисплея) на основі вихідних цифрових даних, а також правил і алгоритмів їх перетворення;

2. В ДЗЗ: відтворення цифрового зображення або результатів його оброблення на дисплеї за допомогою спеціальних структур даних, що дозволяють суттєво збільшити швидкість візуалізування, наприклад, так званих пірамідних шарів, які дозволяють вписувати множину пікселів вихідного знімка в обмежене число пікселів вікна дисплея з виводом на нього одного з попередньо побудованих зображень з розрізненністю, яка послідовно зменшується в 2, 4 або 8 крат.

ГЕОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, *географическая информационная система, geographic (al) information system* — Система оброблення просторово-координованих (просторових) даних, що забезпечує їх збирання, попереднє оброблення, управління даними, моделювання, аналіз, накопичення та відображення інформаційних результатів. В залежності від територіального охоплення відрізняють ГИС: глобальні (планетарні), субконтинентальні, національні (державні), регіональні, локальні (місцеві). В залежності від предметної області інформаційного моделювання ГИС бувають: муніципальні, природоохоронні, земельні тощо.

ГЕОГРАФІЧНО ПРИВ'ЯЗАНІ ДАНІ, *географически привязанные данные, reference data, geo-reference data* — Таблиці даних щодо географічних об'єктів, які містять просторово прив'язану інформацію (адреси, географічні координати тощо), що використовується для виконання операцій геокодування.

ГЕОІНДИКАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, *геоиндикационное моделирование, geoindicational simulation* — Вивчення зв'язків між геологічними об'єктами і природними утвореннями з наступною побудовою відповідної моделі системи природної індикації. Така модель передбачає встановлення основних геоіндикаторів, опис їх генетичних та каузальних зв'язків з відповідними геологічними об'єктами і на цій основі оцінювання (прогнозування) наявності тих чи інших геологічних об'єктів по комплексу індикаторів, що відтворені на зображеннях.

ГЕОІНФОРМАТИКА, *геоинформатика, geo-information science* — Складова інформатики, яка вивчає природні і штучні (антропогенні) геосистеми, їх структуру, просторові та інформаційні взаємозв'язки, функціонування в просторі та часі. Головним інструментарієм Г. є ГИС.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ, *геоинформационный анализ, GIS analysis* — Аналіз розташування, структури та взаємозв'язку об'єктів і явищ з використанням методів просторового аналізу і геомодельовання.

ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИЙ ЗНІМОК, *гиперспектральный снимок hyperspectral photo, hyperspectral image* — Сукупність знімків однієї сцени на поверхні Землі, які отримані одночасно в величезній кількості вузьких зон електромагнітного спектра. Кількість використаних спектральних зон для Г. з. може складати від декількох десятків до декількох сотен.

ДЕШИФРУВАННЯ ЗНІМКІВ, дешифрирование снимков, image (scene)

decoding, photo interpretation, image interpretation — Процес отримання інформації про об'єкти місцевості (або, у більш широкому розумінні, про об'єкти та явища географічної оболонки) по їх зображеннях на знімках. Д. з. базується на знаннях закономірностей відтворення властивостей об'єктів на зображеннях, особливостей їх спектральних характеристик (сигнатур), геометричної форми, розміщення на місцевості. Процедурно Д.з. включає до себе виявлення, розпізнавання та інтерпретацію об'єктів і місцевості. Розрізняють два види Д. з.: загальногеографічне і галузеве (тематичне). Загальногеографічне Д. з. має на меті отримання узагальненої інформації про поверхню Землі: регіональне або типологічне районування земної поверхні, виявлення системи гідрографії, дорожньої мережі, населених пунктів, рослинності, інших елементів місцевості, встановлення їх взаємозв'язків. При загальногеографічному Д. з. окремо виділяють топографічне і ландшафтне дешифрування. Галузеве (тематичне) Д. з. проводиться при вирішенні відомчих задач з визначення характеристик окремих сукупностей об'єктів, що розташовуються на земній поверхні та в атмосфері. Різновиди галузевого (тематичного) дешифрування: геологічне, лісове, ґрунтове, гідрологічне, геоморфологічне та ін.

ДЕШИФРУВАННЯ ЛАНДШАФТНЕ, дешифрирование ландшафтное,

landscape interpretation — Дешифрування, цілі якого — виявлення морфологічної структури ландшафту по комплексних ознаках (таких, як рисунок, текстура, розмір контуру, спектральна яскравість і т. ін.), аналіз природно-територіальних комплексів рангу «фація — урочище — місцевість».

ДЕШИФРУВАННЯ ТОПОГРАФІЧНЕ, дешифрирование топографическое, topographical interpretation

— Дешифрування елементів змісту топографічних карт (узбережжя, озер, рік, водосховищ, гідрографії, рельєфу, населених пунктів, дорожніх мереж та інших природних і антропогенних об'єктів).

ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ, дистанционные методы, remote sensing

methods (techniques) — Неконтактні методи вивчення поверхні Землі, гідросфери, літосфери, атмосфери та космічних тіл.

ДІАПАЗОН ХВИЛЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СПЕКТРА, ІНТЕРВАЛ СПЕКТРАЛЬНИЙ, диапазон волн электромагнитного спектра,

интервал спектральный, spectral band; spectral interval — Інтервал електромагнітного спектра, що визначається двома довжинами хвиль, двома частотами або хвильовими числами. Виділяють такі спектральні діапазони: 1) оптичний: а) ультрафіолетовий (УФ) 1 нм — 0,38 мкм; б) видимий 0,38–0,76 мкм; в) інфрачервоний (ІЧ): ближній 0,76–1,3 мкм; короткий 1,3–3,0 мкм; середній 3,0–8,0 мкм; дальній 8,0 мкм — 0,1 мм; 2) радіодіапазон: а) субміліметровий 0,1–1,0 мм; б) мікрохвильовий: міліметровий 1,0–10,0 мм; сантиметровий 1,0–10,0 см; дециметровий 0,1–1,0 м; в) надкороткі хвилі 1,0–10,0 м; г) короткі хвилі 10,0–100,0 м; д) середні хвилі 0,1–1,0 км; е) довгі хвилі 1,0–10,0 км; ж) наддовгі хвилі 10,0–100,0 км. Іноді діапазон довжин хвиль 8,0–14,0 мкм називають тепловим.

ДОВГОТА, долгота, longitude — Координата, що визначає положення точки на Землі в напрямку з заходу на схід від початкового меридіана. Виділяють такі Д.: астрономічну, як двогранний кут між площинами астрономічних меридіанів даної точки та початкового; геодезичну, як двогранний кут між площинами меридіана точки, що визначається, та початкового меридіана; геоцентричну, як двогранний кут між площинами геоцентричного меридіана точки, що визначається, та початкового меридіана. Відлік довготи ведеться від 0 до 3600 з заходу на схід або в обидва боки, від 0 до 1800 з приписом відповідного слова «східна» або знака «плюс», та «західна» або знака «мінус».

ДОВЖИНА ХВИЛІ, длина волны, wavelength — Відстань у напрямку розповсюдження періодичної хвилі між двома послідовними точками з однією і тією ж фазою коливання. Довжина хвилі в середовищі дорівнює відношенню довжини хвилі в пустоті до показника заломлення середовища. Зазвичай значення довжин хвиль даються для повітря. В усіх інших випадках показується середовище. Показник заломлення нормального повітря (15 °С, 101 325 Н·м⁻²) для видимого випромінювання лежить в межах від 1,00027 до 1,00029.

ЗЕНИТ, зенит, zenith — Точка перетину прямої лінії чи нормалі до поверхні земного еліпсоїда з небесною сферою.

ЗНІМАЛЬНА СИСТЕМА, съемочная система, surveying system — Сукупність технічних засобів, за допомогою яких приймають і реєструють електромагнітне випромінювання об'єктів дослідження у вигляді аналогового або цифрового запису.

ЗНІМАННЯ РАДІОТЕПЛОВЕ, съемка радиотепловая, thermal survey —

Формування зображення (знімка) шляхом реєстрування власного теплового випромінювання земної поверхні з довжинами хвиль міліметрового та сантиметрового діапазонів. Особливість радіотеплового зображення у тому, що розподіл амплітуд пікселів (напівтонів) на ньому відображає характер розподілу температур випромінювальної поверхні. Температура залежить від вологості, засоленості, складу ґрунтів; тому на радіотеплових зображеннях непогано розрізняються сухі і зволожені ґрунти, вода і суходіл і т. п.

ЗНІМОК, снимок, photo, image — Зображення об'єкта, отримане знімальною системою (іконічним технічним засобом ДЗЗ) у вигляді двовимірного чи іншого запису на фотоплівці, магнітному або оптичному дисках і т. ін., який дає змогу відтворювати двовимірне зображення об'єкта.**ЗНІМОК КОСМІЧНИЙ, снимок космический, space photo, satellite image** —

Знімок об'єкта зондування, отриманий з космосу за допомогою технічних засобів ДЗЗ.

ЗОБРАЖЕННЯ, изображение, image — Просторове представлення

об'єкта або сцени (двовимірної або тривимірної). З. буває дійсним (тоді воно може бути зареєстроване на деякому носії, наприклад, на фотоплівці) та уявним.

ЗОБРАЖЕННЯ МОНОСПЕКТРАЛЬНЕ, изображение моноспектральное, monochromatic image —

Зображення сцени, отримане технічним засобом ДЗЗ в одному спектральному діапазоні (каналі).

ЗОБРАЖЕННЯ ПАНХРОМАТИЧНЕ, изображение панхроматическое, panchromatic image —

Чорно-біле зображення, отримане видовим (іконічним) технічним засобом у видимому діапазоні довжин хвиль.

ЗОБРАЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНЕ, изображение радиолокационное, radar image —

Зображення, що сформовано за допомогою радіолокаційного засобу, зокрема радіолокатора бокового огляду.

ЗОНДУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНЕ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ, зондирование дистанционное Земли из космоса, remote sensing of the earth (from space), Earth satellite observation —

Отримування даних про Землю, використовуючи властивості електромагнітних хвиль, випромінюваних, відбитих, поглинених чи розсіяних об'єктами зондування.

ІНДЕКС, индекс, index –

1. Параметр, числова характеристика;

2. В ДЗЗ: умовний показник, який обчислюється по емпіричній формулі; в результаті арифметичних операцій над яскравостями пікселів космічного зображення (знімку) обчислюється деякий показник (індекс), який дає числову імовірнісну оцінку наявності на поверхні Землі певних речовин, матеріалів (рослинності, мінералів і т. ін.).

ІНДЕКС ВЕГЕТАЦІЙНИЙ НОРМАЛІЗОВАНО-РІЗНИЦЕВИЙ, индекс вегетационный нормализованно-разностный, Normalized Difference Vegetation Index — Нормалізований показник (індекс), що визначається як відношення різниці та суми значень спектральних яскравостей в ближній інфрачервоній та червоній зонах спектра електромагнітного випромінювання. Вихідні значення спектральних яскравостей для обчислювань забезпечуються даними двох спектральних каналів радіометра AVHRR, який встановлений на космічній платформі NOAA (США). І. в. н.-р. успішно використовується при оцінці стану розвитку рослинності та прогнозуванні врожайності за даними космічного знімання. Але разом з тим відмічена підвищена чутливість цього індексу до варіацій атмосфери, що знижує точність оцінок на його основі. Таким чином, використання І. в. н.-р. потребує виконання атмосферного коригування космічних знімків. Іноді, в залежності від ступеня проведеного атмосферного коригування, вносять відповідні зміни у вираз для обчислення І. в. н.-р., й тоді його називають модифікованим.

ІНДЕКС КАЛАМУТНОСТІ ВОДИ КОСМІЧНОГО ЗНІМКА, индекс мутности воды космического снимка, turbidity index — Показник спектральної яскравості, що визначається при обчисленні індексу космічного знімка для виявлення концентрації завислих частинок у воді.

ІНТЕРПРЕТУВАННЯ, интерпретация, interpretation — Заключний етап дешифрування, в процесі якого проводяться аналіз і узагальнення кількісних та якісних характеристик (ознак) об'єкта з метою встановлення його стану, значущості та можливостей в конкретній обстановці. Кількісні та якісні характеристики об'єктів місцевості визначаються шляхом вимірювання параметрів зображення: геометричних розмірів, оптичних щільностей, напівтонів, паралаксів і т. ін.

В результаті оцінки вдається з'ясувати стан рослинності, склад порід лісу, характер ґрунту та ін.

ІНФОРМАТИВНІСТЬ, *информативность, informativity* — Насиченість даних змістом, відомостями, які є цікавими у світлі поставленої задачі. В картографії: оцінка обсягу інформації, яку може отримати користувач при роботі з даною картою. При цьому розрізняють інформацію, яка безпосередньо сприймається при читанні карт, і сховану (асоціативну) інформацію, яку не можна отримати без певних вимірів, співставлень, перетворень, логічних міркувань. В задачах ДЗЗ інформативність оцінюють кількістю інформації, що зосереджена в зображенні стосовно об'єктів, які є метою пошуку, аналізу та інтерпретування.

ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, *инфракрасное излучение, infrared radiation* — Випромінювання, довжини хвиль монохроматичних складових котрого більші довжин хвиль видимого випромінювання і менші приблизно 1 мм. Границі спектральної області інфрачервоного випромінювання досить умовні і можуть вибиратися різними для різних застосувань. В спектральній області між 780 нм і 1 мм МКО розрізняє: ІЧ-А від 780 до 1400 нм, ІЧ-В від 1.4 до 3 мкм, ІЧ-С від 3 мкм до 1 мм.

КАЛІБРУВАННЯ ДАНИХ, *Калибровка данных, data calibration* — Оцінка (визначення) радіометричних і геометричних перекичувань зображення, які виникають у процесі знімання, та їх коригування.

КАРТА, *карта, map* — Математично визначене, зменшене, генералізоване зображення поверхні Землі, іншого небесного тіла або космічного простору, що відображає розташовані або проєктовані на них об'єкти в прийнятій системі умовних знаків. К. розглядається як образно-знакова модель, якій властиві висока інформативність, просторово-часова подібність стосовно оригіналу, метричність, оглядовість та наочність. К. розрізняють за просторовим охопленням, масштабом, змістом, призначенням. За просторовим охопленням бувають К. світу, півкуль, материків та їх груп, океанів, морів та їх груп, держав та їх груп, інших політико-адміністративних підрозділів. За масштабом К. розрізняють крупномасштабні (1 : 5000 та крупніше), середньомасштабні (від 1 : 100 000 до 1 : 500 000) і дрібномасштабні (від 1 : 1 000 000 та дрібніше). Зустрічаються інші класифікації. За змістом К. бувають загальногеографічні і тематичні. Загально-

географічні К. відображають сукупність основних елементів місцевості, тобто показують гідрографію, рельєф, населені пункти, дороги та інші елементи. Особливості їх змісту залежать, головним чином, від масштабу карти. Зміст тематичної К. визначається конкретною темою, така карта спеціально присвячена деякому елементу (елементам) або явищу (явищам), наприклад, населеним пунктам, ґрунтам, рослинності, гідрографії, клімату, розташуванню родовищ природних копалин тощо. Іноді тематичні карти, в залежності від широти охоплення теми, що відображається, розподіляють на загальні та галузеві.

КАРТА ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ ТЕМАТИЧНА (З КОСМОСУ), карта поверхности Земли тематическая (с космоса), thematic earth surface map — Проаналізована інформація у вигляді тематичної карти, основу якої складає космічний знімок з необхідними доповненнями, умовними позначками та надписами.

КАРТОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЯ, картографическая информация, cartographic information –

1. Відомості про картографічні твори. Систематичне збирання, оброблення, зберігання та оперативна видача користувачам відомостей про карти (виданих та рукописних), атласи, аерокосмічні матеріали та інші картографічні джерела здійснюються спеціалізованими службами та автоматизованими картографічними інформаційно-пошуковими системами;

2. Інформація, що подається у вигляді картографічних творів;

3. Інформація, що використовується для створення та поновлення картографічних творів;

4. Результат сприймання людиною (або автоматичним розпізнавальним пристроєм) відомостей про об'єкти, явища та процеси, що відображені на картах. К. і. передається за допомогою засобів картографічного зображення та графічних образів.

КАРТОГРАФІЧНА ПРОЕКЦІЯ, картографическая проекция, cartographic projection, map projection, projection — Математично визначений засіб відображення поверхні Земного шару або еліпсоїда (чи іншої планети) на площині. Загальне рівняння картографічної проекції зв'язує геодезичні широти (B) та довготи (L) з прямокутними координатами x та y на площині як $x = f_1(B, L)$; $y = f_2(B, L)$, де f_1 та f_2 — незалежні, однозначні та кінцеві функції. Всім картографічним проекціям властиві ті або інші спотворення, що виникають при

переході від сферичної поверхні до площини. За характером спотворень К.п. розділяють на конформні (рівнокутові), які не мають спотворень кутів та напрямків; рівновеликі, які не спотворюють площі; рівнопроміжні, які зберігають від спотворень деякий один напрямок (меридіани або паралелі) та довільні, в яких тим чи іншим чином містяться спотворення кутів та площ.

КАРТОГРАФУВАННЯ, *картографирование, mapping, map (atlas) compilation* — Сукупність процесів, методів та технологій створення карт, атласів та інших картографічних творів. За масштабом розрізняють крупномасштабне, середньомасштабне та дрібномасштабне К.; за об'єктами — астрономічне, планетарне та земне К.; за методом — наземне, аерокосмічне, підводне К.

КАРТОСХЕМА, *картосхема, sketch map* — Спрощена карта, яка не має картографічної сітки. К. дає загальне уявлення про відтворені на карті явища.

КЛАСИФІКУВАННЯ, *классификация, classification, categorization* — Розподіл заданої множини на підмножини у відповідності з прийнятими правилами, сортування об'єктів за категоріями.

КЛАСИФІКУВАННЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНЕ, *классификация много-спектральная, классификация мультиспектральная, multispectral classification* — Класифікування зображення на основі розбиття простору спектральних ознак на області, що відповідають окремим класам.

КЛАСИФІКУВАННЯ БЕЗ НАВЧАННЯ, *классификация без обучения, unsupervised classification* — Розподіл заданої множини на підмножини у відповідності з прийнятими правилами сортування об'єктів за категоріями без застосування навчальних вибірок.

КЛАСИФІКУВАННЯ З НАВЧАННЯМ, *классификация с обучением, supervised classification* — Класифікування з навчанням на еталонних фрагментах зображення, коли для кожного пікселя у всіх діапазонах визначаються показники властивостей спектрального відбиття і зіставляються з заданими класами спектральних ознак або з такими на еталонних об'єктах.

КЛАСТЕР, *кластер, cluster* — Група елементів, поєднаних деякою спільною властивістю. В задачах автоматичного розпізнавання образів під

К. розуміють групу об'єктів, що утворюють у просторі опису компакту (в деякому розумінні) область

КОЕФІЦІЄНТ ВИПРОМІНЮВАННЯ, коэффициент излучения, emissivity — Поняття використовується для теплових випромінювачів. К. в. визначається як відношення теплової енергетичної світності тіла M_e, th до енергетичної світності чорного тіла $M_e, (e = 1)$ при тій же температурі.

КОЕФІЦІЄНТ ВІДБИТТЯ, коэффициент отражения, reflectance; reflection factor — Відношення відбитого світлового потоку (потoku випромінювання) до падаючого світлового потоку (потoku випромінювання). У загальному випадку значення К. в. залежить від способу освітлення, спектрального складу і стану поляризації випромінювання. Позначається re, rv, r .

КОЛІР, цвет, color —

1. Аспект зорового сприйняття, що дозволяє спостерігачу розрізняти кольорові стимули, які відрізняються за спектральним складом випромінювання, тобто відрізняти один об'єкт від іншого, якщо різниця між ними обумовлена тільки різницею спектрального складу вихідного від них світла;

2. Тривимірна векторна величина, що характеризує сукупність спектральних випромінювань, які візуально не розрізняються в колориметричних умовах спостереження, тобто в таких умовах візуального порівняння, при котрих будь-які випромінювання однакового спектрального складу не розрізняються оком.

КОЛІРНИЙ ТОН, цветовой тон, hue — Характеристика кольору, яка описується словами: синій, зелений, жовтий, червоний і т. п.

КОЛЬОРОВІСТЬ, цветность, chromaticity — Характеристика якості кольору, яка визначається його координатами кольоровості або домінуючою довжиною хвилі і чистотою кольору.

КОМІРКА, ячейка, cell, grid cell, tile — Двомірний просторовий об'єкт, елемент розбиття земної поверхні лініями регулярної сітки, тобто регулярно-коміркового представлення просторових об'єктів, на відміну від пікселя (як елемента коміркового представлення), створюваного розбиттям лініями раstra зображення (а не земної поверхні). К. звичайно має правильну геометричну форму (трикутник, чотирикутник, гексагон, трапеція або ін.) і характеризується абсолютними

розмірами в лінійній або градусній мірі, які визначають просторову розрізненність утворюючої регулярної сітки.

КОНТУР, контур, contour — Замкнена крива. Ще: послідовність обмежуючих дуг (поліліній) просторового об'єкта.

КООРДИНАТИ, координаты, coordinates, position data — Лінійні або/та кутові величини, які визначають положення точки вздовж напрямку або на площині, або у просторі. Для визначення місцеположення точкового об'єкта у просторі існують географічні К.; це кутові величини, що називаються широтою та довготою, і вони визначають місцеположення точки земної поверхні відносно екватора і початкового меридіана. Географічні К. можуть бути астрономічними і геодезичними. Широти та довготи точок, які визначаються на основі геодезичних вимірів та послідовних обчислень на поверхні референс-еліпсоїда, називаються геодезичними і позначаються звичайно літерами В та L. Астрономічні широти та довготи точок визначаються за спостереженнями в цих точках небесних світил і позначаються звичайно літерами j та l. Геодезичні географічні К. зв'язані з нормаллю, що проходить через дану точку до поверхні референс-еліпсоїда, а астрономічні географічні К. — з напрямком прямовисної лінії в цій точці.

КОРИГУВАННЯ АТМОСФЕРНЕ, коррекция атмосферная, atmospheric correction — Радіометричне коригування космічного знімка, спрямоване на компенсування ефектів вибіркості розсіяного світла, що обумовлені середовищем проходження випромінювання — атмосферою.

КОРИГУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНЕ, коррекция геометрическая, geometric correction — Усунення геометричних спотворень на знімку.

КОРИГУВАННЯ РАДІОМЕТРИЧНЕ, коррекция радиометрическая, radiometric correction — Виправлення спотворень яскравості знімка. Примітки: 1. Спотворення яскравості обумовлено перебоями в роботі технічних засобів ДЗЗ, атмосферними спотвореннями, сонячною освітленістю та ін. 2. Радіометричне коригування забезпечує радіометричну порівнянність панхроматичних, багатоспектральних та різночасових цифрових аеро- та космічних знімків.

КОСМІЧНИЙ ЗНІМОК, космический снимок (космоснимок), space photo, satellite image — Знімок об'єкта зондування, отриманий за допомогою технічного засобу ДЗЗ (знімальної системи), встановленого на платформі космічного базування (КА).

КОСМІЧНИЙ СЕГМЕНТ GPS, космический сегмент GPS, space segment of GPS — Сегмент системи GPS, якій містить до 26 штучних супутників Землі (передбачається, що у майбутньому кількість супутників буде збільшуватися), які розташовані на 6-ти орбітах. Площини орбіт нахилені на кут біля 55° до площини екватора та зсунуті по довготі на 60° . Радіуси орбіт — біля 26 тис. км, а період обертання — половина зоряної доби (приблизно 11 годин 58 хвилин). Таке розміщення супутників дає можливість спостерігати одночасно не менш ніж 5 з них у будь-який час та у будь-якій точці поверхні Землі. Передавачі, що встановлені на борту кожного супутника, постійно випромінюють електромагнітні сигнали у напрямку земної поверхні.

ЛЕГЕНДА, легенда, legend –

1. В ДЗЗ: текстовий опис результату інтерпретації зображення;
2. В картографії: система умовних знаків, що використані на карті, і текстових пояснень, що розкривають зміст. Л. включає роз'яснення, витлумачення знаків і відображає логічну основу об'єкта, що картографується. Для топографічних карт існують спеціальні таблиці умовних знаків, обов'язкові для використання на всіх картах відповідного масштабу. На тематичних картах легенду часто записують (друкують) на самому аркуші карти.

ЛІДАР, лидар, LIDAR — Активний технічний засіб ДЗЗ з використанням лазера або іншого джерела високоінтенсивного монохроматичного оптичного випромінювання. Основне призначення — вимірювання відстані (дальності, висоти). Принцип вимірювання відстані оснований на реєстрації часу проходження оптичного імпульсу до об'єкта і в зворотньому напрямку. Похибка виміру відстані не перевищує 10 см. Скорочення від Light Intensity Detection And Ranging — визначення дальності за допомогою оптичного випромінювання. Існує різновид Л., розроблений спеціально для моніторингу стану атмосфери; в його конструкції передбачено два лазери; довжина хвилі одного співпадає з максимумом поглинання випромінювання атмосферними забрудненнями, а довжина хвилі другого — з мінімумом поглинання.

МАСШТАБ, масштаб, scale — Відношення довжини безкінцево малого відрізка на гео зображенні до довжини відповідного безкінцево малого відрізка на поверхні еліпсоїда або кулі. М. карти може вказуватись в таких трьох формах: числовій — чисельний масштаб — як дріб,

з чисельником, що дорівнює одиниці, і знаменником, що дорівнює ступеню зменшення довжин на карті; іменований М. — напис, що вказує довжину лінії на місцевості, яка відповідає 1 см на карті; графічний, або лінійний М. — шкала з поділками (зазвичай, 1 або 2 см), для яких підписані відповідні довжини на місцевості (в метрах або км). На дрібномасштабних картах виникають перекоєчення (викривлення) М. довжин за рахунок картографічних проекцій, при цьому розрізняють головний і частковий М. На планах, листах топографічних карт, крупномасштабних картах і картах невеликих територій (протяжністю до 1000 км) різниці М. практично не відчувуються. Розрізняють також знімальний М., в якому проводиться знімання, М. складання, в якому виконується побудова карти і М. видання, в якому карта видається, часто більш дрібний, чим М. складання.

МЕРИДІАН, меридиан, meridian — Лінія на земній поверхні, всі точки якої мають одну й ту ж довготу. М. вказує напрямок «південь — північ». Відрізняють такі М.: астрономічний — утворюється перерізом земної поверхні площиною, яка проходить через прямовисну лінію у даній точці і паралельно осі обертання Землі; геодезичний — визначається площиною, яка проходить через нормаль до поверхні земного еліпсоїда в даній точці і його малу вісь; геоцентричний — визначається площиною, яка проходить через дану точку та вісь обертання Землі; вихідний, або Грінвіцький М. є початком відліку довгот; осьовий — прийнятий за вісь системи координат на площині (поверхні).

МЕТАДАНИ, метаданные, metadata — Дані про дані: каталоги, довідники, реєстри, інвенторії, бази метаданих та інші форми опису наборів цифрових і аналогових даних, що містять відомості про їх склад, зміст, статус (актуальність та поновлення), походження (методи та умови отримання), місцезнаходження, якість (повноту, непротиріччя, достовірність), формати та форми подання, умови доступу, придбання та використання, авторські, майнові та суміжні з ними права на дані та про їх інші датометричні характеристики. Більш того, просторові М. можуть атрибутуватися додатковими обов'язковими або факультативними характеристиками, включаючи способи цифрування, системи координат, точність просторового представлення, просторову розрізненність і рівень генералізації, масштаб, картографічні проекції, легенди карт та інші специфічні особливості представлення, оброблення та відтворення просторових даних.

МОНІТОРИНГ, ВІДСТЕЖУВАННЯ, мониторинг, monitoring — Періодичне спостереження за об'єктами та явищами з метою виявлення їх кількісних або якісних змін.

НАБІР ДАНИХ, набор данных, dataset —

1. Будь-який клас просторових об'єктів, таблиця або набір класів у базі геоданих;
2. Іменованний набір логічно зв'язаних між собою елементів даних, упорядкованих певним способом.

НАДИР, надир, nadir — Точка на об'єкті зондування, яка розташована на лінії з'єднання технічного засобу ДЗЗ з центром Землі.

НАОЧНІСТЬ, наглядность, apparency — Можливість зручного зорового сприйняття по карті просторових форм, розмірів розміщення, зв'язків об'єктів. Дана властивість забезпечується продуманим відбором елементів змісту карти, доцільною генералізацією, ретельним відбором зображувальних засобів.

ОБ'ЄКТ ДЕШИФРУВАННЯ, объект дешифрирования, object of interpretation (decoding) — Предмет (явище) природного або штучного походження, одержання інформації про котрий є метою процесу дешифрування.

ОБ'ЄКТИВ, объектив, object glass, lens, objective — Оптична система, яка утворює проєктивне зображення плоских або об'ємних предметів на плоскій поверхні приймача (фотоплівці, фотокатоді електронно-променевої трубки, матричному фотоперетворювачі тощо). О. класифікують на: світлосильні, ширококутні, довгофокусні, нормальні. Світлосильні О. мають відносний отвір більше 1 : 2,8. У ширококутних О. поле зору перевищує 600. Довгофокусні О. характеризуються фокусною відстанню, яка втричі або більше перевищує величину лінійного поля зображення. До нормальних відносять О., у котрих всі три характеристики не досягають вказаних значень.

ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ПОПЕРЕДНЄ, обработка данных дистанционного зондирования Земли предварительная, preprocessing — Початковий етап оброблення даних ДЗЗ, на якому здійснюють декодування первинних даних з наступним калібруванням і перетворенням їх у растрову структуру.

ОБРОБЛЕННЯ ЗНІМКА ПЕРВИННЕ, обработка снимка первичная, primary data processing — Виконання інформаційних операцій

зі знімком щодо його прив'язки за орбітальними даними, нормалізації, географічного прив'язки та перетворення до заданої картографічної проекції. На цьому етапі можуть також виконуватися деякі елементарні операції перетворення зображення у відповідності з вимогами користувача.

ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, обработка изображений, image processing — Проведення сукупності операцій з даними ДЗЗ і необхідними допоміжними даними для досягнення певного рівня оброблення даних ДЗЗ. Такими операціями можуть бути: первинне оброблення сигналів зображень, стиснення даних, відновлювання, коригування, фільтрування, архівування, візуалізування та ін. Цілями О.з. можуть бути підвищення його якості, економія пам'яті при передаванні або зберіганні, створення кращих умов при інтерпретації, тощо.

ОВЕРЛЕЙ, оверлей, overlay —

1. Операція накладення один на одного двох або більше шарів, у результаті якої утворюється графічна композиція або графічний О. вихідних шарів; чи один похідний шар, який містить композицію просторових об'єктів вихідних шарів, топологію цієї композиції і атрибути, які є арифметично чи логічно похідними від значень атрибутів вихідних об'єктів у топологічному О. векторних представлень просторових об'єктів;

2. Група аналітичних операцій, яка обслуговує операцію О.;

3. В англomовній термінології: шар.

ОЗНАКА ДЕШИФРУВАЛЬНА ОБ'ЄКТА ЗОНДУВАННЯ, признак дешифровочный объекта зондирования, attribute — Характерна властивість об'єкта зондування, яка виявляється у даних ДЗЗ та дозволяє розпізнати, виділити та ідентифікувати цей об'єкт.

ОЗНАКА ДЕШИФРУВАЛЬНА НЕПРЯМА ОБ'ЄКТА ЗОНДУВАННЯ, признак дешифровочный косвенный объекта зондирования, indirect attribute — Дешифрувальна ознака, яка характеризує об'єкт дешифрування за допомогою будь-якого природного чи штучного компонента, який не є властивістю зображення самого об'єкта зондування.

ОЗНАКА ДЕШИФРУВАЛЬНА ПРЯМА ОБ'ЄКТА ЗОНДУВАННЯ, признак дешифровочный прямой объекта зондирования, direct attribute — Дешифрувальна ознака, яка є властивістю зображення самого об'єкта дешифрування.

ОПЕРАТИВНИЙ ПРОГНОЗ, оперативный прогноз, operative forecast —

Прогноз з періодом попередження для науково-технічних, соціальних, економічних та інших об'єктів до 1 місяця.

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА, оптико-электронная система, optical-electronic system — Система формування зображень, в якій

оптичне випромінювання сцени (об'єктів) перетворюється в електричний сигнал.

ОПТИКО-ФОТОГРАФІЧНА СИСТЕМА, оптико-фотографическая система, optical photographic system — Система формування зобра-

жень, яка забезпечує реєстрацію сцени (об'єктів) безпосереднє на фотоплівку, де утворюється так зване сховане зображення.

ОПТИЧНА ЩІЛЬНІСТЬ, оптическая плотность, optical density —

Міра непрозорості речовини; кількісно виражається як десятковий логарифм величини, оберненої коефіцієнту пропускання; позначається D .

ОПТИЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, оптическое излучение, optic (al) radiation — Електромагнітне випромінювання з довжинами хвиль,

які розташовані між перехідною областю біля рентгенівських променів (приблизно 1 нм) і перехідною областю у радіопроменів (приблизно 1 мм).

ОРБИТА, орбита, orbit — Шлях супутника навколо небесного тіла (на-

приклад, Землі) під впливом гравітації. О. штучного супутника Землі має форму спіралі, що наближується до Землі.

ОРБИТА ГЕОСИНХРОННА, орбита геосинхронная, geo-synchronous satellite orbit — Орбіта, на якій швидкість руху супутника дорівнює

швидкості обертання Землі.

ОРБИТА ГЕОСТАЦІОНАРНА, орбита геостационарная, geo-stationary orbit — Орбіта супутника в напрямку обертання Землі, при якій су-

путник залишається постійно над однією точкою на поверхні Землі.

ОРБИТА ПОЛЯРНА, орбита полярная, polar orbit — Орбіта, яка прохо-

дить над обома географічними полюсами Землі.

ОРБИТА СОНЯЧНО-СИНХРОННА, орбита солнечно-синхронная, Sun-synchronous orbit — Орбіта супутника Землі, при якій площа орбі-

ти близька до полярної та амплітуда така, що супутник проходить над

всіма точками Землі, маючи однакову широту, два рази за добу в один і той же місцевий сонячний час.

ОРТОТРАНСФОРМУВАННЯ, ортофототрансформирование, ortho-transformation, orthorectification — Перетворення аеро- або космічного знімка з метою усунення на зображенні спотворень, обумовлених, в основному, рельєфом місцевості. Використовується при виготовленні фотопланів (ортофотопланів) рельєфної місцевості. Зображення приводиться до одного масштабу поелементно, шляхом неперервного змінювання висоти проектування в залежності від геодезичних висот точок місцевості, що відобразились у кожному поточному елементі; отримане таким чином зображення називають ортофотознімком. Більш загальний варіант: перепроєктування зображення від вихідній проєкції зображення (наприклад, центральній), до ортогональної проєкції. Сутність процесу О. полягає у виправленні зображення за нахилом площини знімка та рельєфом поверхні, що зображується.

ОРТОФОТОЗНІМОК, ортофотоснимок, orthophotography — Аеро- або космічний знімок, виготовлений методом орторектифікування.

ПІДСТИЛЬНА ПОВЕРХНЯ, подстилающая поверхность, underlying surface — Поверхня, на якій розташовані або на фоні якої спостерігаються об'єкти зондування.

ПІКСЕЛЬ, пиксель, pixel — Найменший просторовий елемент цифрового зображення (похідне від Picture Element). Розбиття поля зображення на П. досягається в результаті дискретизації зображення (розбивки на далі неподільні елементи — дискрети, або точки растра). Яскравість і колір (останнє — у випадку кольорового зображення) є незмінними у межах цього елемента.

ПЛОЩА (ОБ'ЄКТА), площадь (объекта), area — Внутрішня область плоского двовимірного об'єкта, яка утворена замкнутою послідовністю дуг у векторно-топологічному представленні або сегментів нетопологічної моделі «спагетті», та що ідентифікується внутрішньою точкою і асоційованими з нею значеннями атрибутів.

ПОВЕРХНЯ, поверхность, surface, relief — Тривимірний об'єкт, один з чотирьох основних типів просторових об'єктів (нарівні з точками, лініями та полігонами як планіметричними об'єктами), визначений не тільки плановими координатами, але й аплікатою Z, тобто трійцею, триплетом координат; оболонка тіла або його частина.

ПОГЛИНАННЯ, поглочение, absorption — Перетворення енергії випромінювання в іншу форму енергії внаслідок взаємодії з речовиною.

ПОЗИТИВ, ПОЗИТИВНЕ ФОТОГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ, позитив, позитивное фотографическое изображение, positive photoimage — Фотографічне зображення (відбиток з фотонегативу), в якому відносний розподіл яскравостей або кольорів відповідає їх розподілу в об'єкті знімання. П. отримують за схемою, аналогічною схемі отримання негатива, а саме: експонування фотопаперу, проявлення, проміжне промивання, фіксування, підсумкове промивання та сушка.

ПОЗИЦІЮВАННЯ, позиционирование, attitude — Вимірювання за допомогою супутникових систем позиціювання з метою визначення координат місцезнаходження об'єкта в тривимірному навколоземному просторі. Найбільш відомими супутниковими системами позиціювання є GPS та GLONASS. У них параметри П. вимірюють кодовим або фазовим методом. Відомі способи автономного та диференційного П. При автономному П. визначаються абсолютні координати місцезнаходження просторовою лінійною засічкою по вимірам псевдовідстаней тільки з одного пункту (того, що визначається). При диференційному П. псевдовідстані вимірюють одночасно з двох пунктів: базової станції (розташована у пункті з відомими координатами) і рухаючої станції, яка стоїть понад новою точкою, а потім вимірювані відстані порівнюють і вводять відповідні поправки.

ПОКРИТТЯ, покрытие, coverage — Формат векторних даних програми ArcInfo, побудований за файловим принципом і призначений для збереження інформації про просторове положення, форму та атрибутивні характеристики просторових об'єктів. При цьому геометрична інформація про просторові об'єкти зберігається як сукупність первинних просторових об'єктів (таких, як дуги, вузли, полігони та точкові мітки) та вторинних просторових об'єктів (таких, як екстенти, зв'язки між об'єктами, анотації), а семантична інформація про них акумулюється в таблицях атрибутів.

ПОЛІГОН, полигон, polygon — Багатокутник, полігональний об'єкт, контур, контурний об'єкт, область — двовимірний (площовий) об'єкт, один з чотирьох основних типів просторових об'єктів (поряд з точками, лініями та поверхнями). Розрізняють П. простий — що не містить внутрішніх полігонів, та комплексний — що містить внутрішні

полігони, які називають «островами» і анклавками. Окремо виділяють тип П., який зв'язаний топологічними відношеннями з сусідніми та обмежувачими дугами; подібна ситуація з полігональними та іншими просторовими об'єктами характерна для стандарту SDTS.

ПОСТОБРОБЛЕННЯ, постобработка, post-processing — Процедура перетворення та обчислювального оброблення GPS-даних, що виконується після закінчення їх збирання. П. даних звичайно виконується в камеральних умовах з використанням відповідного програмного забезпечення, в результаті чого отримуються більш точні координатні визначення, ніж ті, що були отримані безпосередньо з даних вимірювань.

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ У ПСЕВДОКОЛЬОРАХ, представление изображения в псевдоцветам, pseudocolor —

1. Спосіб представлення цифрового зображення (звичайно тематичного шару), що забезпечує різним класам об'єктів відповідні кольори;
2. Спосіб представлення напівтонового зображення, за яким різними рівнями градацій надають відповідні кольори. Зображення, що таким чином утворюється, називається псевдокольоровим.

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ, представление пространственных данных, spatial data representation, (geo)spatial data model — Спосіб цифрового опису просторових об'єктів, тип структури просторових даних; найбільш універсальні та вживані такі способи: векторне представлення (векторно-топологічне та векторно-нетопологічне, або модель «спагетті»), растрове, квадро-дерево (квадротомічне представлення). До менш поширених або тих, що застосовують для представлення просторових об'єктів певного типу, відносяться також гіперграфова модель, модель типу TIN та її багатовимірні розширення. Відомі також гібридні моделі просторових даних. Машинні реалізації моделей просторових даних називають форматами просторових даних. Існують методи та технології переходу від одних П. п. д. до інших (наприклад, растрово-векторне, векторно-растрове перетворення).

ПРИВ'ЯЗУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЗНІМКА ГЕОГРАФІЧНЕ, привязка цифрового снимка географическая, satellite image geocoding — Встановлення відповідності між системою координат знімка та географічною системою координат на підставі характеристик технічних

засобів ДЗЗ, орбітальних даних, контурних карт місцевості, наземних опорних точок та інше.

ПРОЕКЦІЯ, проекция, projection — Зображення просторового об'єкта в площині, що побудоване за визначеними законами.

ПРОЗОРИСТЬ, прозоричность, transparency — Величина, що характеризує, яку саме частину світла пропускає середовище без зміни напрямку його розповсюдження. Визначається відношенням світлового потоку (потoku випромінювання), який пройшов у середовищі шлях, що дорівнює одиниці довжини, без зміни напряму, до світлового потоку (потoku випромінювання), який ввійшов у це середовище у вигляді паралельного пучка.

ПРОПУСКАННЯ, пропускание, transmission — Проходження випромінювання через середовище без зміни частот складаючих його монохроматичних випромінювань.

ПРОСТОРОВО-ЧАСТОТНА СТРУКТУРА ЗОБРАЖЕННЯ, пространственно-частотная структура изображения, spatial frequency image structure — Представлення зображення в просторово-частотній площині, яке створюється шляхом перетворення Фур'є або функції, якою описується зображення (у випадку детермінованих сигналів), або автокореляційної функції зображення (при випадковому розподілу яскравостей). П.-ч.с. з. надає уявлення про наявність у зображенні тих чи інших просторових гармонік.

РАДІАЦІЙНА ТЕМПЕРАТУРА, радиационная температура, full radiator temperature — Температура, при якій чорне тіло має ту ж саму теплову енергетичну світність, що і тіло, яке розглядається. Одиниця: кельвін (К).

РАДІОЛОКАТОР, РАДАР, радиолокатор, радар, radar — Активний технічний засіб ДЗЗ, принцип дії якого передбачає використання випромінювання радіочастотного діапазону. За допомогою Р. виявляють стаціонарні та рухомі об'єкти, відстежують їх траєкторії руху, забезпечують вимірювання відстані (дальності, висоти), а також дозволяють отримувати зображення місцевості та розташованих на ній об'єктів. РАДАР — скорочення від Radio Detection And Ranging — радіовиявлення і визначення дальності.

РАДІОЛОКАЦІЙНА СИСТЕМА, радиолокационная система, radar system — Активна система дистанційного зондування, що досліджує ландшафт за допомогою радіохвиль.

РАДІОМЕТР, радиометр, radiometer — Технічний засіб для вимірювання енергії електромагнітного випромінювання у певному діапазоні довжин хвиль будь-якої частини електромагнітного спектра. Бувають Р. інфрачервоні (для вимірювання енергії електромагнітного випромінювання в інфрачервоному діапазоні), мікрохвильові (для вимірювання енергії електромагнітного випромінювання в мікрохвильовому діапазоні), оптичні (для вимірювання енергії електромагнітного випромінювання у межах оптичного діапазону).

РАДІОМЕТР БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИЙ, радиометр многоспектральный, радиометр мультиспектральный, multispectral radiometer — Радіометр для роздільного вимірювання енергій електромагнітного випромінювання одночасно у декількох спектральних діапазонах.

РАДІОМЕТРИЧНЕ КОРИГУВАННЯ, радиометрическая коррекция, radiometric correction — виправлення значень яскравостей пікселів зображення з метою усунення в даних тих відхилень, що викликані не об'єктом, який спостерігається, а іншими причинами, наприклад, впливом атмосфери, некерованою зміною параметрів технічного засобу ДЗЗ тощо.

РАСТРОВЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ, растровое представление, raster data structure, grid data structure, tessellation data structure — Растрова модель даних — цифрове представлення просторових об'єктів у вигляді сукупності чарунок растра (пікселів) з присвоєними їм значеннями класу об'єкта, на відміну від формально ідентичного регулярно-чарункового представлення як сукупності чарунок регулярної мережі (елементів розбиття земної поверхні). Р.п. передбачає позиціонування об'єктів з вказування їх положення у відповідній растру прямокутній матриці одноманітно для всіх типів просторових об'єктів (точок, ліній, полігонів та поверхонь).

РАСТРОВО-ВЕКТОРНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ, растрово-векторное преобразование, raster to vector conversion, vectorization — Автоматичне або напівавтоматичне перетворення (конвертування) растрового представлення просторових об'єктів до векторного представлення за допомогою набору операцій, включаючи, як правило, «скелетизацію» растрового запису лінії; її потоншення; генералізацію

з застосуванням операторів розрядки (операторів усунення надмірних точок в цифровому запису ліній), їх згладжування, спрощення рисунка, усунення розривів, віддаляння «висячих ліній». Р.-в.п. підтримується спеціалізованими програмними засобами — векторизаторами.

РЕДАГУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЗНІМКА, редактирование цифрового снимка, digital image editing — Виконання операцій, які не пов'язані з обробленням безпосередньо змісту цифрового знімка, але необхідні для підвищення якості та прискорення оброблення, а саме: візуалізування, мозаїка, фрагментування, синтезування, дискретизація та ін.

РЕКТИФІКУВАННЯ, ректификация, rectification, alignment, coregistration, geocoding, geocorrection, georeferencing — Геометричне перетворення растрового зображення, яке усуває спотворення оптичної системи та проектування тривимірних просторових поверхонь на плоский носій, і включає прив'язування отриманого зображення до якої-небудь системи координат на поверхні Землі. Коли при цьому також ставиться і вирішується задача максимально можливого усунення спотворень, обумовлених рельєфом місцевості, то таке Р. називають орторектифікуванням.

РІВЕНЬ ОБРОБІТКУ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, уровень обработки данных дистанционного зондирования Земли, data product level, processing level — Певний стан даних ДЗЗ. Формально визначається відповідним показником обсягу та змісту оброблення даних. Наприклад, цей показник може вимірюватися цілими числами від 0 до 4. При цьому рівню з показником 0 відповідає попередньо оброблений знімок; рівню 1 — нормалізований та географічно прив'язаний знімок; рівню 2 — повністю нормалізований знімок, який перетворений у задану картографічну проекцію; рівню 3 — знімок, дешифрований з виділенням на ньому інформації загального характеру; 4 — знімок з виділеною тематичною інформацією, що є результатом обробітку даних на попередніх рівнях із залученням допоміжних даних. Послідовне виконання операцій, передбачених рівнями 0–2, надає первинно оброблений знімок. Виконання всіх операцій над знімком, включаючи операції 4-го рівня, надає тематично оброблений знімок. Можливі й інші варіанти порівневого розподілу стану даних ДЗЗ.

РОЗПІЗНАВАННЯ, *распознавание, recognition* —

1. Другий етап дешифрування, в процесі якого роздільно сприймаються і аналізуються складові ознаки (елементи, деталі) об'єкта і встановлюється сутність (тип, клас і т. ін.) виявленого об'єкта. Імовірність Р збільшується зі зростанням просторової розрізненості зображення, контрасту, кількості градацій яскравості, що відтворюються на зображенні, терміну аналізу. Якщо Р виконується людиною, то цей процес часто називають опізнанням;

2. Процес машинного аналізу об'єктів (образів) та їх ознак на зображеннях з метою визначення належності об'єкта до певного класу;

3. Ідентифікація контурів, різного роду геометричних форм або конфігурацій, що реалізується з використанням автоматичних засобів оброблення інформації.

РОЗРІЗНЕНІСТЬ ПРОСТОРОВА (НА МІСЦЕВОСТІ), *разрешение пространственное (на местности), spatial resolution* —

Характеристика зображення, котре створюється видовим (іконічним) технічним засобом ДЗЗ, що визначається розміром діаметра кола, в яке вписаний найменший компактний об'єкт заданого контрасту на земній поверхні, котрий може бути виявлений на зображенні з заданою імовірністю. Р. п. виражається в одиницях довжини, звичайно в метрах.

РОЗРІЗНЕНІСТЬ РАДІОМЕТРИЧНА, *разрешение радиометрическое, radiometrical resolution* —

Найменша різниця інтенсивностей двох сигналів (випромінювань) від об'єкта зондування, яку може визначити технічний засіб ДЗЗ.

РОЗРІЗНЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ, РОЗРІЗНЕНІСТЬ, *разрешающая способность, resolution power* —

Параметр, який характеризує здатність оптичного приладу або фотографічної системи давати роздільне зображення двох близьких точок об'єкта. Найменша лінійна (або кутова) відстань між двома точками, починаючи з котрої їх зображення зливаються і перестають розрізнятися, називається лінійною (або кутовою) границею розрізненості. Величина Р. з. аерофотоапарата (оптичної системи спільно з аерофотоматеріалом), визначається максимальною просторовою частотою періодичної сітки, штрихи якої візуально розпізнаються на фотографічному зображенні, створеному даною системою, при застосуванні стандартної міри заданого контрасту. В задачах ДЗЗ Р. з. характеризує здатність системи відтворювати

дрібні деталі аероландшафту. Р. з. позначається як R і має розмірність мм-1 (читається як «ліній на міліметр»).

РОЗСІЯННЯ, *расcеяние, diffusion* — Зміна просторового розподілу пучка променів, що відхиляються у різних напрямках поверхнею або середовищем без зміни частот складових його монохроматичних випромінювань.

СВІТЛОВА ЕНЕРГІЯ, *световая энергия, quantity of light* — Добуток світлового потоку на тривалість освітлення. Одиниця: люмен-секунда (лм·с).

СВІТЛОВИЙ ПОТІК, *световой поток, luminous flux* — Величина, що утворюється від потоку випромінювання при оцінці цього випромінювання по його дії на селективний приймач, спектральна чутливість котрого визначається нормалізованою функцією відносної спектральної світлової ефективності випромінювання. Позначається Φ_v ; Φ . Одиниця: люмен (лм).

СВІТЛОЧУТЛИВІСТЬ, *светочувствительность, light sensitivity* — Здатність матеріалу (фотографічного, напівпровідникового або іншого) реагувати на світлове випромінювання. Розрізняють С. загальну та ефективну. Загальна С. — чутливість матеріалу до неперервного випромінювання заданого спектрального складу в видимій області. Ефективна С. — чутливість чорно-білого фотографічного матеріалу до світла, який пройшов через даний світлофільтр.

СИГНАТУРА, *сигнатура, signature* — Будь-яка характеристика або група характеристик, за якою об'єкт може бути виявленим на зображенні, знімку або групі даних. У якості С. може виступати спектральна характеристика об'єкта або класу об'єктів на поверхні Землі, і тоді говорять про спектральну С.

СИНТЕЗУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ, *синтезирование изображения, image composition* — Процедура попиксельного суміщення двох або більше моноспектральних зображень одної сцени, отриманих у різних каналах іконічного засобу ДЗЗ, результатом якої є отримання нового, синтезованого зображення.

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ (З КОСМОСУ), *система дистанционного зондирования Земли (из космоса), remote sensing system* — Сукупність космічних та наземних технічних

і інформаційних засобів, які функціонально та організаційно пов'язані між собою і забезпечують проведення ДЗЗ.

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ МІЖНАРОДНА, *система дистанционного зондирования Земли международная, International remote sensing system* — Система ДЗЗ, власниками і розпорядниками якої є юридичні або фізичні особи кількох країн.

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ НАЦІОНАЛЬНА, *система дистанционного зондирования Земли национальная, national remote sensing system* — Система ДЗЗ, власниками і розпорядниками якої є юридичні або фізичні особи однієї країни.

СИСТЕМА ТОЧНОГО ПОЗИЦІЮВАННЯ, *система точного позиционирования, Precise Positioning Service* — Найвища точність вирішення навігаційної задачі GPS-методом, яка може бути отримана при стандартному використанні системи GPS. Вона реалізується шляхом оброблення сигналів на частотах L1 та L2, що закодовані P-кодом.

СКАНЕР, *сканер, scanner* —

1. Пристрій аналого-цифрового перетворення зображення для його автоматизованого вводу в ЕОМ у растровому форматі з високою просторовою розрізненістю (зазвичай, не менш 600 точок на дюйм) шляхом послідовного поточкового сканування поля зображення (у відбитому світлі, чи тому, яке проходить). За своїми можливостями С. бувають кольорові — для вводу кольорових зображень та монохромні — для вводу чорно-білих зображень. За конструкцією розрізняють С. планшетні, барабанні, роликові та ручні;

2. В ДЗЗ: бортовий оптико-електронний або радіолокаційний технічний засіб, який забезпечує формування зображень місцевості шляхом її сканування за заданим законом і реєстрацію власного або відбитого випромінювання.

СКАНЕР БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИЙ, *сканер многоспектральный, сканер мультиспектральный, multispectral scanner* — Сканер, в якому сцена (земна поверхня) сканується одночасно у декількох спектральних діапазонах (каналах). Дозволяє отримувати дані (в тому числі, формувати зображення сцени) по числу спектральних каналів.

СКАНЕР ЕЛЕКТРОННИЙ, СКАНЕР ТВЕРДОТІЛЬНИЙ, *сканер электронный, сканер твердотельный, pushbroom scanner* — Пристрій, який формує зображення шляхом сканування площини зображення,

забезпечує формування зображень з мінімумом геометричних аберацій. Використання твердотілого напівпровідникового фотоперетворювача і відсутність деталей, що рухаються, роблять такі сканери високонадійними і економічними. В системах ДЗЗ найбільш поширені сканери на основі лінійки або матриці приладу з зарядовим зв'язком (ПЗЗ). В конструкції такого сканера розверстка і зчитування сигналу вдовж стрічки (поперечна розверстка) забезпечується електронікою, а поздовжня розверстка — за рахунок прямолінійного пересування платформи (повітряного або космічного ЛА), на якій встановлено сканер.

СКАНЕР ІНФРАЧЕРВОНИЙ, сканер инфракрасный, infrared scanner — Сканер, який отримує дані, у тому числі формує зображення об'єктів, в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль.

СКАНЕР ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ, сканер оптико-электронный, across-track scanner — Іконічний пристрій, який формує зображення шляхом сканування простору предметів. Технічно сканування реалізується за допомогою оптичних деталей (дзеркал, скляних призм, барабанів, пірамід), частина яких є рухомими (за допомогою спеціального механічного приводу). Перетворення оптичних сигналів сцени в електричні сигнали забезпечується використанням одно- або багатоеlementного фотоперетворювача.

СКАНУВАННЯ, сканирование, scanning — Процедура послідовного огляду елементів сцени (земної поверхні, об'єкта). Розміри елемента сцени визначаються миттєвим кутом поля зору системи. С. може здійснюватися у просторі предметів або у площині зображення. При С. у просторі предметів огляд елементів сцени здійснюється шляхом послідовного пересування напрямку візування у межах сцени. Крива, яку описує напрямок візування у просторі предметів, має назву траєкторії сканування. У сучасних конструкціях технічних засобів ДЗЗ використовуються, в основному, траєкторії С. земної поверхні у формі лінії або частини кола, а процедура С. складається з циклів. С. у площині зображення організується таким чином. Спочатку за допомогою оптичної системи сцена проектується на чутливий майданчик фотоперетворювача, який являє собою матрицю або лінійку фотоприймачів, причому, елементу сцени відповідає один фотоприймач. Тут оптичні сигнали сцени перетворюються у відповідні вихідні електричні сигнали фотоприймачів. При цьому операція С. полягає

в опитуванні стану виходів фотоприймачів. Прийнята послідовність опитування визначає траєкторію С. в площині зображення.

СМУТА ЗАХОПЛЕННЯ, полоса захвата, ground swath; swath width —

Частина поверхні Землі, на яку отримані зображення з повітря або космосу. Ширина С. з. вимірюється у напрямку, перпендикулярному лінії польоту, і визначається полем зору видового (іконічного) технічного засобу ДЗЗ. Довжина С. з. вимірюється вздовж траєкторії польоту і визначається полем зору видового технічного засобу і часом неперервного знімання. Іноді С. з. ще називають маршрутом (не плутати з маршрутом).

СМУТА ПОГЛИНАННЯ, полоса поглощения, absorption band — Діапазон довжин хвиль або частот електромагнітного спектра, в якому енергія випромінювання поглинається даною речовиною.

СПЕКТР ВИПРОМІНЮВАННЯ, спектр излучения, spectrum — Розклад (складного) випромінювання на монохроматичні складові. За характером розподілу (формою) розрізняють С. неперервний (суцільний), лінійчатий та комбінований. Неперервний — це спектр, форма якого описується неперервною функцією неперервного аргументу (частоти випромінювання або довжини його хвилі). Випромінювання з неперервним спектром створює, наприклад, вольфрамова лампа розжарювання, у її випромінюванні можна спостерігати всі спектральні складові видимого та інфрачервоного діапазонів довжин хвиль (хоча й різної інтенсивності). При лінійчатому спектрі енергія випромінювання зосереджується у вузьких діапазонах частот або довжин його хвиль, такий спектр характерний для газорозрядних ламп, когерентних джерел оптичного випромінювання, зокрема, напівпровідникових лазерів. Випромінювання з комбінованим (неперервно-лінійчатим) спектром утворюють, наприклад, люмінесцентні лампи.

СПЕКТРАЛЬНА ЧУТЛИВІСТЬ, спектральная чувствительность, spectral sensitivity — Відношення величини, що характеризує рівень реакції приймача (наприклад, фотоструму), до потоку випромінювання або енергії монохроматичного випромінювання, яке викликає цю реакцію. Розрізняють абсолютну С. ч., яка виражається в А/Вт, і безрозмірну відносну С. ч. — відношення С. ч. при даній довжині хвилі випромінювання до максимального значення С. ч.

СПЕКТРАЛЬНИЙ ДІАПАЗОН, *спектральный диапазон, spectral band* —

Інтервал електромагнітного спектра, що визначений двома довжинами хвиль.

СПЕКТРОМЕТР, *спектрометр, Spectrometer* — Технічний засіб для одержання і реєстрації спектрального розподілу електромагнітного випромінювання. Результати вимірювання наводяться в умовних одиницях.

СПЕКТРОРАДІОМЕТР, *спектрорадиометр, spectroradiometer* — Технічний прилад для визначення спектрального розподілу (спектральної щільності) енергії випромінювання. Результати вимірювання наводяться в абсолютних значеннях. Прилад об'єднує функції спектрометра та радіометра.

СПЕКТРОФОТОМЕТР, *спектрофотометр, spectrophotometer* — Спектральний прилад, який здійснює фотометрування — порівняння вимірюваного потоку випромінювання з еталонним. Призначений для виміру коефіцієнтів пропускання або відбиття матеріалів залежно від довжини хвилі.

СПОТВОРЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНЕ (СПОТВОРЕННЯ ПРОСТОРОВЕ), *искажение геометрическое (искажение пространственное), geometrical error* — Погрішність між фактичними координатами і формами об'єктів зондування на знімку та ідеальними координатами і формами, які були б теоретично отримані ідеальними технічними засобами ДЗЗ при ідеальних умовах. Причини появи С.г. на аерокосмічних знімках — кривизна та рух Землі, аберації оптичних систем та ін.

СТЕРЕОМОДЕЛЬ, *стереомодель, stereomodel* — Просторова модель об'єкта дистанційного знімання, що отримана за стереопарою. С. виконує роль основи при створенні цифрових моделей рельєфу.

СТЕРЕООБРОБЛЕННЯ ЗНІМКІВ, *стереообработка снимков, geometric distortion; spatial distortion* — Відтворення тривимірного уявлення сцени на підставі стереопари, тобто, на підставі двох знімків, що перекриваються, які отримані під різними кутами від надиру при зніманні перекритої частини.

СФЕРОЇД, *сфероид, spheroid* — Фігура, яку прийняла б Земля, знаходячись у стані гідростатичної рівноваги та під дією лише сил взаємного

тяжіння її частинок та відцентрової сили її обертання навколо незмінної вісі.

СЦЕНА, сцена, scene —

1. В ДЗЗ: частина території Землі, що потрапила у поле зору технічного засобу ДЗЗ у сеансі знімання та реєструється ним у вигляді зображення як одне ціле;

2. В комп'ютерній графіці: тривимірний простір з розташованими у ньому об'єктами, що візуалізується.

ТЕКСТУРА, текстура, texture — Поняття, що використовується для зображень з вираженими статистичними властивостями. До характеристик Т. входять такі властивості, як однорідність, густина (тон), наявність протяжних утворень та їх спрямованість, регулярність структури зображення та ін.

ТЕМПЕРАТУРА, температура, temperature — Фізична величина, що характеризує стан термодинамічної рівноваги системи. Якщо система не перебуває в рівновазі, в ній відбувається теплообмін. В уявленнях кінетичної теорії газів Т. пропорційна середній кінетичній енергії мікрочастинок.

ТЕМПЕРАТУРА КОЛІРНА, температура цветовая, color temperature — Спектрофотометрична або кольорометрична температура, фізичний параметр, який визначає хід змінювання інтенсивності випромінювання якого-небудь джерела зі зміною довжини хвилі в оптичному діапазоні безперервного спектра. Т. к. приймають рівною температурі абсолютно чорного тіла, яке має в розглянутому інтервалі довжин хвиль такий же відносний розподіл інтенсивності, що й дане джерело.

ТЕМПЕРАТУРА РОЗПОДІЛУ, температура распределения, distribution temperature — Температура чорного тіла, при якій ординати кривої спектрального розподілу його енергетичної яскравості в видимій області спектра пропорційні відповідним ординатам кривої спектрального розподілу випромінювання, яке розглядається. Одиниця: кельвін (К). Обидва випромінювання обов'язково мають при цьому ту ж саму (в межах допустимого) кольоровість.

ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, тепловое излучение, температурное излучение, thermal radiation — Електромагнітне випромінювання, яке емітується

(висилається) речовиною і виникає за рахунок її внутрішньої енергії (на відміну, наприклад, від люмінесценції, котра утворюється за рахунок зовнішніх джерел енергії). Т.в. має неперервний спектр, положення максимуму якого залежить від температури речовини. З її підвищенням збільшується загальна енергія Т.в., що висилається, а максимум зміщується в область малих довжин хвиль.

ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ, точность измерения, measurement accuracy — Відображає близькість результатів вимірів до дійсного значення величини, що вимірюється. Характеристикою точності вимірювань є похибка — відхилення результату вимірювання від дійсного значення величини, що вимірюється. Практично дійсне значення невідоме, похибки оцінюють за повторними вимірами однієї й тої самої величини. Розрізняють: грубу помилку, що значно перевищує похибку, що очікується за даними умовами; систематичну похибку — складову похибки вимірювання, що залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях; випадкову похибку — складову похибки вимірювання, що змінюється випадковим чином при повторних вимірюваннях. Грубі та систематичні похибки повинні бути виключені із вимірювань. Випадкові похибки неминучі. Їх вплив можна лише послабити, підвищуючи якість вимірювань, а також застосовуючи належні методи математичного оброблення вимірювань. Вірогідності випадкових похибок підлягають статистичним законам розподілу, основними параметрами яких є: осереднене значення — середнє з результатів повторних вимірів однієї й тої ж величини; середньоквадратична похибка (СКП) — обчислюється за відхиленнями результатів повторних вимірів від їх середнього значення і є основним критерієм точності вимірів. Точність обчислення цих параметрів підвищується при збільшенні кількості повторних вимірів. Похибки часто підлягають нормальному закону розподілу, за яким малі величини похибок зустрічаються частіше більших, додатні та від'ємні рівновірогідні і при великій кількості їх середнє значення наближується до нуля, за абсолютним значенням похибки не перевищують СКП, 2 СКП, 2,5 СКП та 3 СКП відповідно в 68,3; 95,4; 98,6 і 99,7% випадків. При математичному обробленні вимірювань різної точності якість окремого вимірювання враховують введенням «ваги» — величини, що дорівнює квадрату відношення, в чисельнику якого — СКП, вага

якого приймається за 1 (її називають середньоквадратичною похибкою одиниці ваги), в знаменнику — СКП поточного вимірювання. Вага рівноточних вимірювань дорівнює одиниці.

УЛЬТРАФІОЛЕТОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, *ультрафиолетовое излучение, ultraviolet radiation* — Випромінювання, довжини хвиль монохроматичних складових котрого менші за довжини хвиль видимого випромінювання і більші приблизно 1 нм. Границі спектральної області ультрафіолетового випромінювання умовні і можуть вибиратися різними для різних застосувань. В спектральній області між 100 і 400 нм МКО розрізняє: УФ-А від 315 до 400 нм, УФ-В від 280 до 315 нм, УФ-С від 100 до 280 нм.

ФІЛЬТРАЦІЯ, *фильтрация, filtering* — Процедура оброблення (перетворення) сигналів зображення за допомогою відповідного фільтра. Загальна ціль такого перетворення — покращення якості зображення. Якщо процедура виконується безпосередньо над відеосигналом у реальному або квазіреальному часі, то говорять про Ф. у часовій області; якщо процедура виконується над точками (пікселами) сформованого зображення, то говорять про Ф. у просторовій області, або просторову Ф. Якщо обрана процедура (алгоритм) просторової Ф. є однаковою для всіх точок (пікселів) зображення, то говорять про просторово-інваріантну Ф.; якщо параметри або характер процедури оброблення сигналів змінюються для точок зображення в залежності від їх координат, то говорять про просторово-залежну, або адаптивну Ф.

ЦИФРОВА КАРТА, *цифровая карта, digital map* — Цифрова модель карти, яка створена шляхом цифрування картографічних джерел, фотограмметричного оброблення даних ДЗЗ, цифрового реєстрування даних польових зйомок або іншим способом. Інакше: цифрова модель земної поверхні, яка сформована з урахуванням законів картографічної генералізації в прийнятих для карт проекції, розграфці, системі координат та висот. Ц. к. використовується як основа для виготовлення паперових і електронних карт, входить до складу картографічних БД, є найважливішим елементом інформаційного забезпечення ГІС і може бути продуктом геоінформаційної технології.

ЦИФРОВА МОДЕЛЬ РЕЛЬЄФУ, *цифровая модель рельефа, digital elevation model* — Засіб цифрового представлення тривимірних

просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів) у вигляді тривимірних даних як сукупності висот або позначок глибин та інших значень аплікату (координати Z) у вузлах регулярної сітки з утворенням матриці висот, нерегулярної мережі трикутників (TIN) або як сукупності записів горизонталей (ізогіпс, ізобат) або інших ізоліній. Найбільш поширеними засобами цифрового відтворення рельєфу є растрове представлення і особлива модель просторових даних, що базується на структурі TIN і апроксимує рельєф багатогранною поверхнею з висотними позначками (позначками глибин) у вузлах мережі трикутників. Процес цифрового моделювання рельєфу включає створення Ц.м.р., їх оброблення та використання. Джерелами вихідних даних для створення Ц.м.р. є топографічні карти, аерокосмічні знімки та інші дані ДЗЗ, дані альтиметричного знімання, супутникових систем позиціювання GPS, морські навігаційні карти, дані ехолокації та ін.

ЦИФРУВАННЯ, цифрование, digitizing — Процес аналого-цифрового перетворення даних, тобто перетворення даних до цифрової форми.

ЧОРНЕ ТІЛО; ПОВНИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ; ВИПРОМІНЮВАЧ ПЛАНКА, черное тело; полный излучатель; излучатель Планка, full radiator, Planckian radiator, black body, blackbody — Тепловий випромінювач, що має при заданій температурі для всіх довжин хвиль максимальну спектральну щільність енергетичної світності. Він повністю поглинає всі падаючі на нього випромінювання незалежно від довжини хвилі, напрямлення падіння і стану поляризації випромінювання.

ЧУТЛИВІСТЬ, чувствительность, sensitivity — Здатність технічного пристрою реагувати на слабкі вихідні сигнали (оптичні, електричні, тощо). Кількісно визначається як відношення величини приросту вихідного сигналу до приросту вхідної величини, що його обумовлює. Розрізняють абсолютну і відносну Ч.

ШЕЙП-ФАЙЛ, шейп-файл, shapefile — Векторний формат просторових даних, що використовується в програмних продуктах фірми ESRI (США), призначений для збереження інформації про місцезнаходження, форму та атрибути просторових об'єктів.

ШИРОТА, широта, latitude — Одна з координат, що визначає положення точки на Землі в напрямку на північ. Розрізняють: астрономічну Ш. —

кут, утворений висковою лінією в даній точці та площиною, перпендикулярною до осі обертання Землі; геодезичну Ш. — кут, утворений нормаллю до поверхні земного еліпсоїда в даній точці та площиною його екватора; геоцентричну Ш. — кут, утворений радіусом, проведеним з центру мас Землі, та площиною, перпендикулярною до осі обертання Землі. Значення Ш. змінюються від 0 на екваторі до 90 кутових градусів на полюсах, і для північної півкулі називаються «північними» та позитивними, а для точок південної півкулі — «південними» і від'ємними. На глобусах та картах Ш. показують за допомогою паралелей.

Навчальне видання

**Довгий С. О.,
Лялько В. І.,
Бабійчук С. М.,
Кучма Т. Л.,
Томченко О. В.,
Юрків Л. Я.**

**ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ:
ІСТОРІЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України*

*Дизайн і верстка Л. В. Северенчук
Коректор О. О. Нечипоренко
Дизайн обкладинки Т. В. Васинюк*

Підписано до друку 21.06.2019. Формат 60 x 84 1/16
Папір офс. 80 г/м². Друк цифровий. Ум. друк. арк. 18,37
Наклад 300 прим. Зам. № 0606

Видавництво Інституту обдарованої дитини НАПН України
вул. Січових Стрільців, 52д, м. Київ, 04053
тел./факс.: (044) 481-27-27
E-mail: iod.napn@ukr.net
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру;
серія ДК № 6081 від 14.03.2018 р.