

УДК: 004.62, 004.67

Аналітичний огляд європейських проектів LUCAS і CORINE для моніторингу та валідації земного покриву і землекористування на основі супутникових та наземних спостережень та досвід картографування земного покриву в Україні

Я. І. Зелик*, Н. М. Куусуль, А. Ю. Шелестов, Б. Я. Яйлимов

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, Україна

Здійснено аналітичний огляд європейських проектів CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover (CLC) і LUCAS (Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey) та їх використання для моніторингу та валідації земного покриву та землекористування. Розглянуто досвід картографування земного покриву в Україні на основі розроблених в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України нейромережевих методів класифікації, методів злиття різнорідних супутникових даних та реалізації відповідних автоматизованих інформаційних технологій у межах європейських проектів SIGMA та Sen2-Agri.

Ключові слова: CORINE, LUCAS, Land Cover, Land Use, in-situ дані, земний покрив, землекористування, наземні спостереження, супутникові зображення, картографування, моніторинг, валідація, нейромережеві методи класифікації, методи злиття різнорідних супутникових їх даних

© Я. І. Зелик, Н. М. Куусуль, А. Ю. Шелестов, Б. Я. Яйлимов. 2017

Вступ

LUCAS є рамковим проектом під керівництвом Статистичного офісу Європейських співтовариств (Statistical Office of the European Communities, Eurostat) [35, 39, 45]. Його основна мета — надання узгодженої інформації про агроєкологію Європи. В [45] вказано, що у межах проекту LUCAS реєструється інформація in-situ про земний покрив та землекористування на регулярній дворівневій сітці. Розмір сітки становив 18×18 км — первинні одиниці вибірки (primary sampling units, PSU) (на час виходу у світ публікації [45]). Кожен блок PSU містить 10 вторинних одиниць вибірки (secondary sampling units SSU). SSU розміщені у двох паралельних рядах, по п'ять точок у кожному ряді. Відстань між точками SSU становить 300 м. Людина — польовий спостерігач (surveyor) знаходиться у контрольній точці з високою точністю (1–3 метри) і реєструє інформацію про земний покрив (Land Cover, LC) і землекористування (Land Use, LU) та інші параметри довкілля у цій точці відповідно до строгих правил [3]. Розглядаються області спостереження, як правило, круг радіусом 1.5 метра, а у виняткових випадках — круг з радіусом 20 м. Надається інформація у формі цифрових фотографій поля у напрямках — Схід, Захід, Північ і Південь, як правило, у кожній центральній точці SSU першого ряду. В [7] відзначено, що номенклатура LUCAS Land Cover містила 57 категорій у 7 основних групах, а номенклатура LUCAS Land Use (на час виходу у світ публікації [6]) використовувала

14 класів землекористування. На сторінці [33] є посилання на архіви баз даних LUCAS за 2009 і 2012 рр. з візуалізацією у спеціальному браузері інформації про земний покрив, землекористування та ландшафт у контрольних точках у країнах Євросоюзу.

Проект CORINE Land Cover перебуває під спільним керівництвом Об'єднаного дослідницького центру (Joint Research Centre, JRC) та Європейського агентства з навколишнього середовища (European Environment Agency, EEA) [14, 39, 45]. CORINE реалізує методологію, спрямовану на формування і періодичне оновлення бази даних CLC земного покриву у Європі і комп'ютерне картографування цих даних на основі фотоінтерпретації радіометрично і геометрично скоригованих орторектифікованих супутникових зображень, отриманих у межах, зокрема, проекту IMAGE, та інших супутникових проектів спостереження Землі. База даних CLC є доступною в операційному режимі для більшості регіонів Європи за звітні 1990, 2000, 2006, 2012 роки у межах Copernicus Land Monitoring Service і містить інформацію про поточний стан ділянок з використанням мінімального блоку картографування розміром 25 га, а поріг для виявлення змін земного покриву встановлюється у розмірі 5 га, щоб не втратити істотні просторові зміни земного покриву [14, 39, 45]. Географічна база даних CLC у масштабі 1:250000 містила змішану номенклатуру ділянок землекористування та земельного покриву у 44 класах у 3-х рівнях ієрархії. Проект CORINE реалізується у децентралізованому підході у державах — членах ЕЕА, тобто кожна країна створює національну базу даних і

* E-mail: adapt09@gmail.com, тел. +380 96 518 42 04

вносить вклад у конкретні регіональні знання і створення національного потенціалу у галузі картографування земного покриву. Окремі вибірки даних конкретної країни пізніше об'єднуються у цілісний безшовний просторовий набір даних, що містить узгоджені об'єкти земного покриву, оконтурені багатогранниками (полігонами).

Методології і бази даних проектів CORINE і LUCAS використовуються для валідації географічної бази даних CLC та оцінки її точності [29, 39, 45]. Валідація базується на використанні при перевірці достовірності даних CLC незалежних наземно засвідчених даних високого розрізнення LUCAS Євростату високої точності, які пов'язані з тим самим періодом збору даних і не використовувались при складанні цільової бази даних CLC. Валідація заснована на реінтерпретації даних супутникових зображень у точках вторинних одиниць вибірки LUCAS на основі фотографій поля у поєднанні з кодами LUCAS у цих точках [29, 39, 45].

Метою статті є здійснення аналітичного огляду європейських проектів LUCAS і CORINE для моніторингу та валідації земного покриву і землекористування на основі супутникових та наземних спостережень та розгляд досвіду картографування земного покриву в Україні.

1. LUCAS – система і методологія обстеження земного покриву та землекористування у країнах Європейського Союзу

Згідно з означенням [35] The Land Use/Cover Area frame Survey (LUCAS) — (рамкове обстеження ділянок земного покриву і землекористування) являє собою узгоджену у місці знаходження (in-situ) на земній поверхні колекцію збору та використання даних земного покриву та землекористування, яка простягається по всій території Європейського союзу. Обстеження у місці знаходження на земній поверхні передбачає, що дані збираються з допомогою прямих спостережень, зроблених інспекторами (surveyors) на місцях.

LUCAS заснований на статистичних розрахунках, які інтерпретують спостереження у польових умовах. Він базується на стандартній методології обстеження з точки зору плану формування вибірок, класифікації, процесів збору даних і статистичних оцінок, які використовуються для отримання гармонізованих і неупереджених оцінок землекористування і земного покриву.

Згідно з глосарієм [28] земний покрив стосується біофізичного покриття землі (наприклад, природних територій, лісів, будівель, доріг, озер, тощо).

Землекористування [28] стосується соціально-економічного використання землі (наприклад, у сільському господарстві, торгівлі, використанні в інтересах житла або відпочинку); в одному місці,

можуть бути численні і альтернативні системи землекористування.

Ландшафт [28] стосується земельної ділянки, характер і функції визначаються комплексною і регіональною специфічною взаємодією природного процесу з діяльністю людини через економічні, соціальні, екологічні відношення. Ландшафт може бути проаналізовано з врахуванням таких елементів як ландшафтне різноманіття, важливість лінійних об'єктів на зразок доріг і ступеня фрагментації ландшафту.

Країни Європейського союзу характеризуються різноманітними ландшафтами, які містять велику різноманітність флори і фауни і включають у себе деякі з найбільш і найменш густонаселених районів світу. LUCAS рамкове обстеження цих територій забезпечує узгоджені і з'єднані статистичні дані з використання земель і земного покриву на всій території ЄС загальною площею трохи менше 4.5 млн. км² для 28 країн Європи. Дані, зібрані за допомогою LUCAS, забезпечують узгоджену інформацію для вивчення цілого ряду соціальних проблем довкілля, таких як освоєння землі, деградація ґрунтів та біорізноманіття.

При розгляді земної поверхні використовується 2 взаємопов'язаних поняття:

- земний покрив стосується властивостей земного покриття (наприклад, сільськогосподарські культури, трави, широколисті ліси, забудовані ділянки);
- землекористування вказує на соціально-економічне використання земель (наприклад, сільське господарство, лісове господарство, рекреаційне використання, використання для будівництва житлових приміщень).

LUCAS реалізує саме рамкове обстеження земного покриву і землекористування територій. Євростат проводить це обстеження кожних 3 роки з 2006 року для виявлення змін в землекористуванні і покриву у Європейському Союзі. Обстеження LUCAS проводяться у місці знаходження на земній поверхні. Це означає, що польові спостереження проводяться і реєструються у всьому ЄС. З останніх можна відзначити опубліковані результати обстежень LUCAS 2012 року, які охоплюють потім 27 країн-членів ЄС у більш, ніж 270 000 точках. Євростат провів останнє обстеження LUCAS в період з березня по жовтень 2015 року. Геодезисти з 28 держав-членів відвідали у цілому 273 401 точок.

1.1. Історичний розвиток LUCAS

Спочатку LUCAS було розроблено для забезпечення ранніх оцінок врожаю для Європейської комісії як пілотне обстеження ландшафту обмеженої кількості держав-членів ЄС; перше дослідження було проведено в 2001 р.

Згодом рамкове обстеження стало ключовим інструментом для розробників державної політики

у галузі використання землі та статистиків, і обсяги даних з різними формами землекористування і рослинного покриття в ЄС значно збільшилися.

У 2006 р. змінилася методологія формування вибірок і її фокус перемістився з обстеження земель сільськогосподарського призначення до ширшого земельного покриття, землекористування та ландшафтного обстеження. У тому ж році був запроваджений трирічний інтервал як періодичність проведення рамкового обстеження.

У дослідженнях 2009 р. спостерігалось помітне розширення покриття LUCAS з результатами, які поширюються на 23, а пізніше — на 27 держав-членів ЄС (були охоплені Болгарія, Кіпр, Мальта, Румунія).

Класифікації, що використовуються для категоризації даних про використання землі та земного покриття, були пристосовані для того, щоб більш тісно відповідати міжнародним стандартам.

Передостаннє рамкове обстеження було проведено в 2012 р. і охоплювало тоді всі 27 держав-членів ЄС. Останнє обстеження LUCAS в період з березня по жовтень 2015 року і охоплювало вже 28 держав-членів ЄС.

1.2. Реалізація обстеження LUCAS

На сучасному етапі LUCAS є обстеженням з формуванням вибірки у двох фазах. На першому етапі вибірка LUCAS є систематичною вибіркою з точок, розташованих через 2 км одна від однієї у чотирьох основних напрямках, що охоплюють всю територію ЄС; тому вона містить близько 1.1 мільйона різних точок. Кожна точка вибірки на першому етапі фотоінтерпретується і відноситься до одного з таких семи попередньо визначених класів (страт) земного покриття: орних земель (земель сільськогосподарського призначення, ріллі), багаторічних культур, пасовищ, лісових масивів і чагарників, непокритих рослинністю ділянок, штучних об'єктів, води.

Зі стратифікованої вибірки першої фази вилучається вибірка другої фази — польова вибірка. Кожна з цих польових вибірок класифікується під час робочого візиту інспекторів (наземні дослідження) відповідно до повної класифікації землекористування і рослинного покриття. Більш детальна інформація щодо методології формування вибірок LUCAS наведена в [31]. Певний відсоток точок обстежується у послідовних LUCAS кампаніях. Точки, віддалені понад 1 500 метрів від дорожньої мережі, вважаються недоступними і виключаються з вибірки точок для відвідування, щоб обмежити вартість роботи зі збору даних.

На рис. 1 відображена схема формування вибірок при обстеженні LUCAS [35]. У першій фазі вибірки для стратифікації у сучасних умовах формуються на основі фотоінтерпретації ортофотопланів, отрима-

них, у тому числі, з аерофотознімків на сітці з кроком 2 км. Вибірка містить 1 100 000 точок. У другій фазі вибірка формується за даними спостережень у місці знаходження (in-situ) на земній поверхні і вибірка містить близько 27 000 точок.

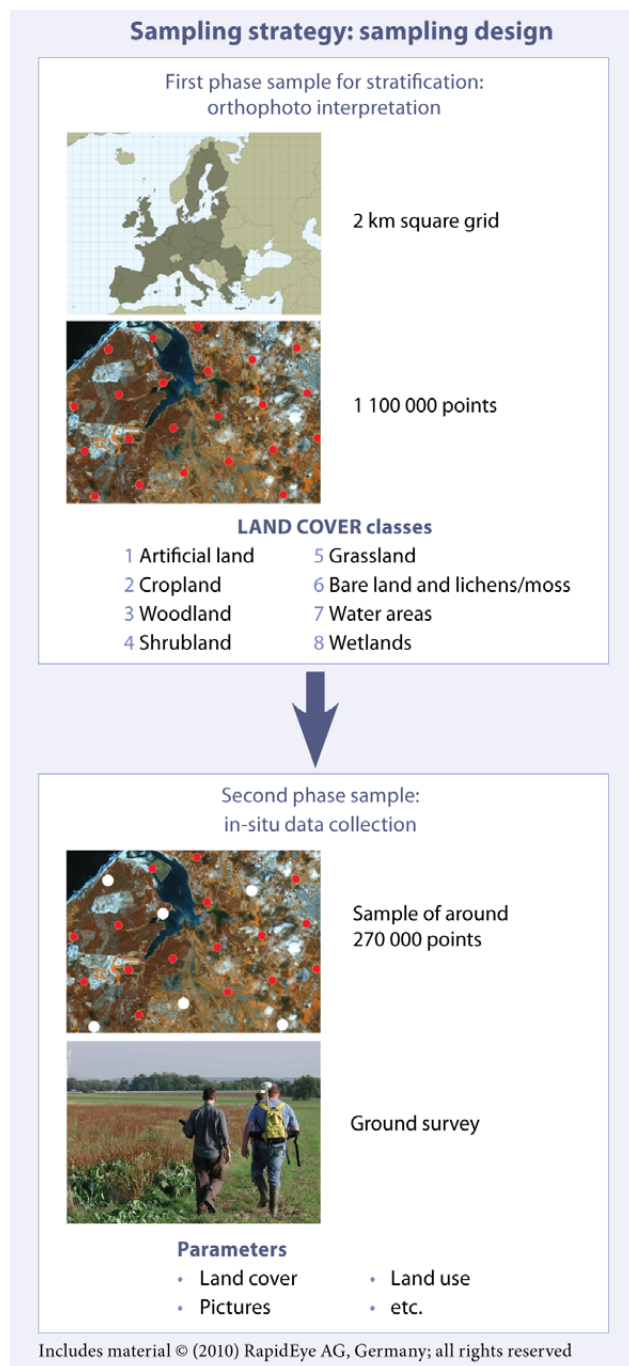


Рис. 1. Схема формування вибірок при обстеженні LUCAS у двох фазах

Крім того, у другій фазі проводяться наземні дослідження ґрунту. У 2009 р. до рамкового обстеження LUCAS був включений модуль дослідження ґрунту, для оброблення результатів якого збирається ви-

бірка про тип верхнього шару ґрунту у 10% in-situ точок [35]. Мета застосування модуля ґрунту полягає в підвищенні доступності узгоджених даних про параметри ґрунту в Європі. Модуль ґрунту LUCAS був реалізований у співпраці групи розробників з навколишнього середовища LUCAS і Об'єднаного дослідницького центру (Joint Research Centre).

У межах обстеження LUCAS спостерігачі (surveyors) йдуть від точки до точки і спостерігають земний покрив, землекористування і параметри довкілля у місцях знаходження на земній поверхні. Спостерігач документує земний покрив і землекористування відповідно до узгодженої класифікації. Поняття “земля” поширюється на внутрішні райони води (таких як озера, річки, естуарії або лагуни). Інспектор також збирає інформацію, що стосується частки земного покриття у межах конкретного вікна спостереження, розмір області, ширини будь-яких специфічних особливостей, висоти будь-яких дерев, а також інформацію про управління землею і водними ресурсами (наприклад, випас або зрошення). Інспектори отримують підготовку перед виходом у поле: у них є набір супровідних документів, інструкції про те, як провести обстеження, і набір процедур контролю якості. Таким чином, значні зусилля докладаються для того, щоб кожен з інспекторів застосував ті ж методи при відвідуванні призначеної географічної точки. Інспектори заповнюють анкету з низкою параметрів земного покриття і землекористування. Вони також здійсню-

ють серію фотографій у кожній точці, самої точки, а також фотографій у всіх чотирьох основних напрямках горизонту (північ, південь, схід, захід), перш, ніж йти 250 метрів у східному напрямку. Формується спеціальний поперечний зріз (transect), на якому фіксуються, включаючи фотографування, різні типи земного покриття і лінійних елементів. Ці лінійні елементи включають, стіни, огорожі, дороги, залізничні лінії, іригаційні канали, ліній електропередач.

1.3. Класифікація і номенклатура класів LUCAS

Номенклатура класів, що використовуються в LUCAS, є порівнянною з іншими статистичними стандартами, наприклад, стандартами, які використовуються в Організації обстеження структури фермерських господарств (Farm Structure Survey, FSS), в Організації продовольства і сільського господарства (Food and Agriculture Organisation, FAO), — під егідою Організації об'єднаних націй (ООН), стандартами, які використовуються в Інформаційній системі європейської природи (European Nature Information System, EUNIS) — для класифікації типів і ділянок лісового господарства.

Земний покрив класифікується у відповідності з номенклатурою, наведеною у таблиці 1 (показані тільки два перші рівні ієрархії, а в цілому є 76 підкласів) [35].

Використання земель класифікується згідно з но-

Таблиця 1.
Номенклатура класів земного покриття за LUCAS

Land cover			
A00	ARTIFICIAL LAND	A10 A20	Built-up areas Artificial non built-up areas
B00	CROPLAND	B10 B20 B30 B40 B50 B70 B30	Cereals Root crops Non-permanent industrial crops Dry pulses, vegetables and flowers Fodder crops (mainly leguminous) Permanent crops: fruit trees Other permanent crops
C00	WOODLAND	C10 C20 C30	Broad-leaved woodland Coniferous woodland Mixed woodland
D00	SHRUBLAND	D10 D20	Shrubland with sparse tree cover Shrubland without tree cover
E00	GRASSLAND	E10 E20 E30	Grassland with sparse tree/shrub cover Grassland without tree/shrub cover Spontaneously re-vegetated surfaces
F00	BARE LAND AND LICHENS/MOSS	F10 F20 F30 F40	Rocks and stones Sand Lichens and moss Other bare soil
G00	WATER AREAS	G10 G20 G30 G50	Inland water bodies Inland running water Coastal water bodies Glaciers, permanent snow
H00	WETLANDS	H10 H20	Inland wetlands Coastal wetlands

менклатурою, наведеною у таблиці 2 (існує 14 основних категорій, а у цілому — 33 різних класи) [35].

Аналіз проб ґрунту з 2009 р. зі збору даних LUCAS містив таку інформацію: типи ґрунтів; ґрунтових текстур, рівень рН, вміст органічного вуглецю, фосфору, азоту і видобувного калію, ерозія ґрунту, сприйнятливість до ущільнення.

Таблиця 2.

Номенклатура класів землекористування за LUCAS

Land use	
U110	Agriculture
U120	Forestry
U130	Aquaculture and fishing
U140	Mining and quarrying
U210	Energy production
U220	Industry and manufacturing
U310	Transport, communication networks, storage, protective works
U320	Water and waste treatment
U330	Construction
U340	Commerce, finance, business
U350	Community services
U360	Recreation, leisure, sport
U370	Residential
U400	Unused

Довідкові документи LUCAS постійно удосконалюються і адаптуються з врахуванням досвіду, нагромадженого у результаті реалізованих обстежень і оновлених вимог до інформації, що надається на основі обстежень, сформульованих користувачами LUCAS. Аналіз останньої версії системи класифікації земного покриву і землекористування та номенклатури відповідних класів у межах рамкового обстеження LUCAS і змін у ній протягом 2009–2012 рр. та 2012–2015 рр. проведено в [36].

1.4. Контроль якості зібраних даних обстеження LUCAS

Результати, зібрані інспекторами, підлягають детальній перевірці якості. Автоматизований контроль якості, перевірка на повноту і несуперечність здійснюються на етапі компіляції або коли дані, зібрані у полі, завантажуються у центральне сховище даних.

Другий рівень контролю якості здійснюється у регіональних або центральних офісах, де всі з обстежених точок перевіряються візуально. Подальший контроль якості здійснюється незалежним регулятором якості і включає в себе:

- інтерактивний контроль точності і відповідності вимогам до якості, як це визначено в рамках LUCAS для 36% точок;
- перші 20% точок, призначених інспектором, контролюються у всій повноті для раннього виявлення будь-яких систематичних помилок.

Для проведення контролю використовується вся доступна інформація, у тому числі:

- земельні документи, які отримують інспектори, щоб знайти точку;
- фактичні фотографії, а також історичні фотографії і дані у разі, якщо точка була обстежена раніше;
- GPS-треки, які показують повний шлях, пройдений інспектором;
- будь-які зауваження, зроблені спостерігачами і локальними контролерами, які передаються разом з даними.

Точки збору даних, що вимагають виправлення або додаткового пояснення (близько 7% від загальної кількості балів) відкидаються і відправляються назад польовим інспекторам для коригування.

1.5. Типи даних, отриманих у результаті обстеження LUCAS, їх організація та доступність

З обстежень LUCAS отримуються три типи даних:

- Мікро-дані: земний покрив, землекористування і параметри довкілля, пов'язані з окремими точками обстеження.
- Точкові і ландшафтні фотографії — у 4-х напрямках за сторонами горизонту.
- Статистичні таблиці з агрегованих результатів з обстеження земного покриву і землекористування на географічному рівні. Ці оцінки засновані на даних зважених точок.

Зібрана інформація використовується тільки для отримання статистичних даних на європейському рівні. Євростат не зберігає персональні дані і дані власності на землю. З мікроданими і фотографіями за обстеженнями LUCAS 2006, 2009 і 2012 можна ознайомитися за таким посиланням [40].

Дані та інформація про стан земельного покриву/землекористування та їх зміни широко використовуються для таких цілей: охорона природи; управління лісовими та водними ресурсами, міське та транспортне планування; сільськогосподарська політика; запобігання і пом'якшення наслідків стихійних лих; картування і захист ґрунтів; моніторинг змін клімату; моніторинг біорізноманіття та ін. Дані земного покриву/землекористування також формують основу для просторового і територіального аналізу, який має вирішальне значення для планування політики у галузі державного управління у зазначених сферах.

Сукупні результати за підсумковими і національними даними для 28 країн Європи відображають земний покрив і землекористування для кожної з основних категорій і їх підкласів [28]. Статистичні дані можуть також бути проаналізовані на більш детальному рівні відповідно до номенклатури територіальних одиниць у кожній з 28 країн. Статистичні таблиці доповнюються показниками, пов'язаними

з ландшафтною композицією, родючістю, тощо. Ці агреговані дані доступні на сайті [33]. Екранний знімок сторінки [33] зображений на рис. 2.

Первинні дані у найбільш детальному вигляді доступні для окремих точок і містять мікродані; показники LUCAS transect — вищезазначених поперечних зрізів при обстеженні у точках; фотографії у файлах для конкретних країн, і все це доступне через сайт [43]. Крім того, існує LUCAS онлайн-переглядач для перегляду колекцій даних 2009 і 2012 рр. Інтерфейс онлайн-переглядача доступний на сайті [42] і відображений на рис. 3.

Традиційно поверхня землі була полігоном для порівняння статистичних даних, наприклад сільськогосподарської статистики у різних геогра-

фічних районах. Статистичні дані про саму поверхню землі раніше збиралися рідко. Офіційні статистичні дані, пов'язані з землею, таким чином, часто поширюються у різних статистичних областях (сільське господарство, охорона довкілля, лісового господарства і т. д.) і не завжди добре інтегровані один з одним.

У даний час Євростат виробляє гармонізовані статистики щодо земного покриву/землекористування на додаток до традиційних статистик, пов'язаних з конкретним типом земного покриву/землекористування. Ця узгоджена інформація про земний покрив і землекористування збирається за допомогою обстеження LUCAS, яке здійснюється безпосередньо Євростатом. Конкретні статистичні дані земного

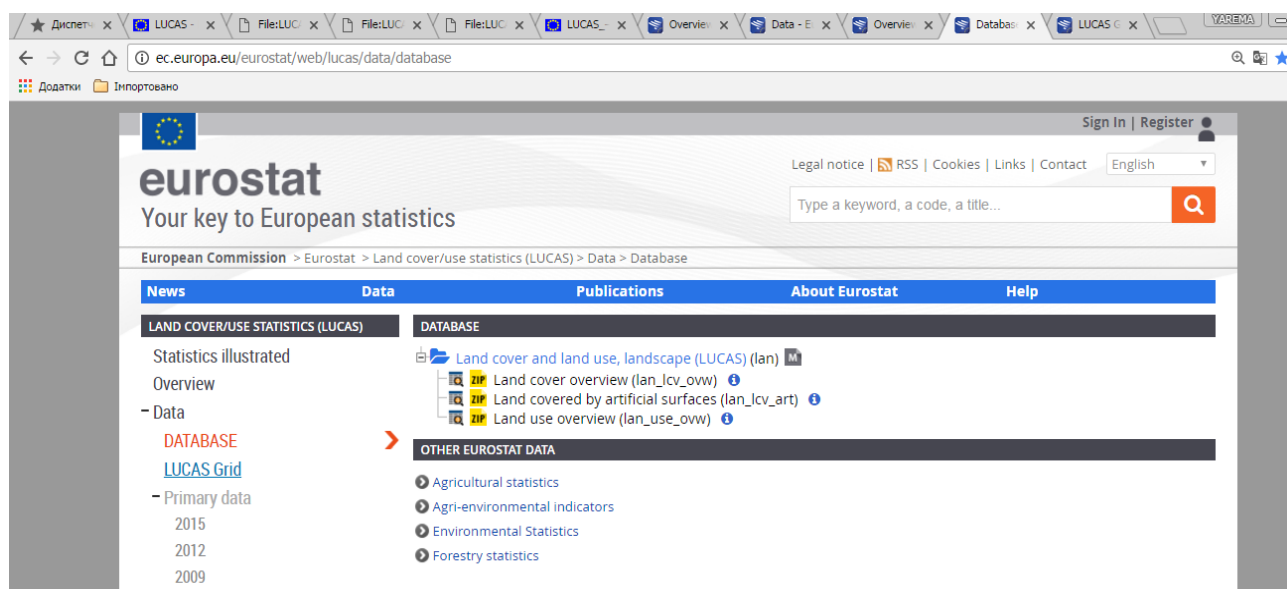


Рис. 2. Сторінка сайту з доступом до бази агрегованих даних LUCAS

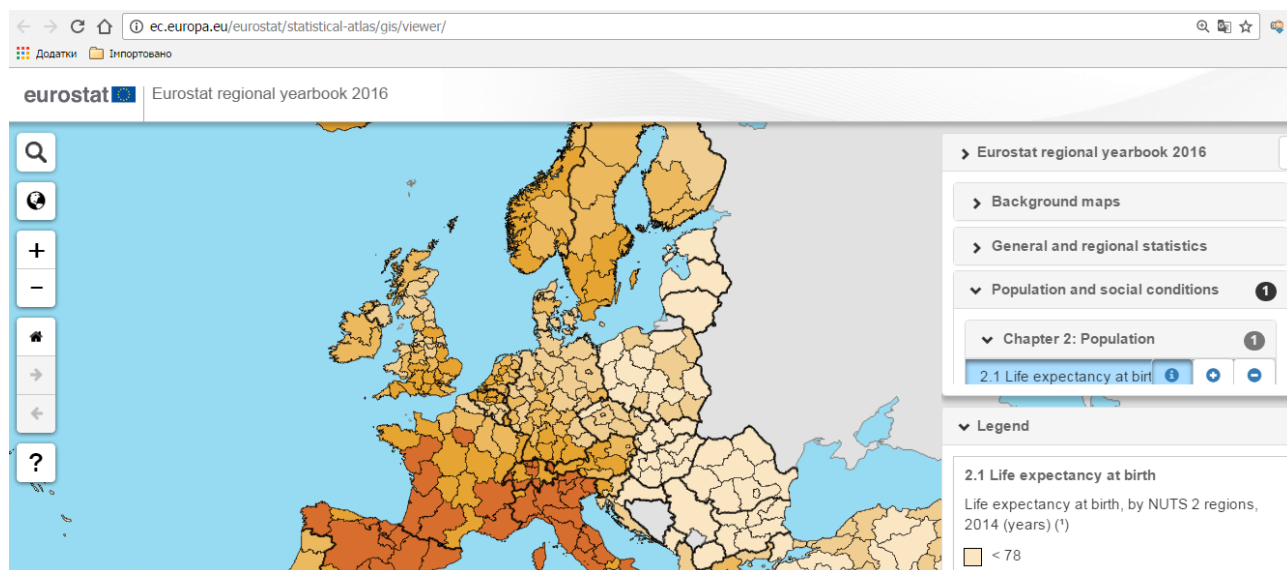


Рис. 3. Інтерфейс LUCAS онлайн-переглядача для перегляду колекцій даних 2009 і 2012 рр.

покриву/землекористування збираються у співпраці з державами — членами ЄС.

Найбільш важливі спеціальні заходи з використання даних земного покриву/землекористування стосуються сільського господарства (статистика врожаю і структура обстеження ферм), лісового господарства та охорони довкілля.

1.6. Сітка спостережень LUCAS та стратифікація даних на основі фотоінтерпретації орторектифікованих аерокосмічних зображень

В [37] описується сітка обстеження LUCAS, з застосуванням якої здійснюється двофазове формування вибірок, при якому здійснюється об'єднання інформації про земний покрив і землекористування на основі фотоінтерпретації орторектифікованих аерокосмічних знімків у першій фазі з інформацією, зібраною у ході наземного інспектування у другій фазі частини точок, вибраних на першому етапі. Формування сітки з елементарним розміром $2 \times 2 \text{ км}^2$ є початковим етапом при проектуванні чергового LUCAS обстеження. Сітка містить усі геоприв'язані контрольні точки LUCAS в ЄС, з яких формується вибірка. На сьогодні сітка складається з 1096 510 точок і стратифікована за класами земельного покриву. Архіви даних про точки сітки з анотаційною інформацією доступні для користувачів в форматі CSV і форматі DBF на сайті [41].

Остання версія методології стратифікації даних обстеження LUCAS на першій фазі формування вибірок, заснована на придбанні та обробленні орторектифікованих геоприв'язаних аерокосмічних знімків та їх адекватній фотоінтерпретації і подальшій наземній валідації у місцях знаходження у контрольних точках [38]. Оновлення стратифікації контрольних точок обстеження LUCAS через фотоінтерпретацію відіграє вирішальну роль в якості результатів обстеження LUCAS. Чергове оновлення

стратифікації існуючої мережі контрольних точок обстеження LUCAS проведено у 2016 р.

У [38] сформульовано спеціальні правила збору інформації у контрольних точках обстеження LUCAS у другій (польовій) фазі збору даних обстеження після першого етапу стратифікації, здійсненої на основі вказаної фотоінтерпретації. З огляду на предмет обстеження LUCAS, а саме, земний покрив і землекористування, — є стандартне означення застосування поняття точки у LUCAS. У LUCAS точка обстеження відповідає колові з радіусом 1.5 м (або діаметром 3 м) і тому представляє площу близько 7 м^2 (рис. 4 а)) [19]. Таке ж правило справедливе і для стратифікації. Як правило, точка потрапляє на ділянку з однорідною щодо відбиття поверхнею (наприклад, рілля, дахи споруд, ліс, вода, тощо) і точки можуть бути ідентифіковані без будь-яких сумнівів. Однак, у деяких випадках можуть виникнути неоднозначності, коли місце розташування точки і спостереження шарів неоднозначні: якщо контрольна точка потрапляє на межу двох класів (страт), сформованих за результатами фотоінтерпретації; якщо точка належить малій лінійній особливості (дорога, лінія електропередач, ріка, тощо); якщо присутня явна гетерогенність у земному покриві; якщо має місце явно розріджений покрив спостережуваної ділянки представниками кількох класів. У перших двох випадках для визначення класу належності контрольної точки обстеження LUCAS використовується правило, зміст якого полягає в огляді інспектором земної поверхні за сторонами горизонту. У третьому та четвертому випадках для визначення класу належності контрольної точки обстеження LUCAS використовується так зване розширене вікно спостереження (рис. 4 б і рис. 5) [38]. Розширене вікно спостереження передбачає розширення кола спостереження до радіуса 20 м в околі контрольної точки обстеження LUCAS радіусом 3 м. При цьому спостережувана площа

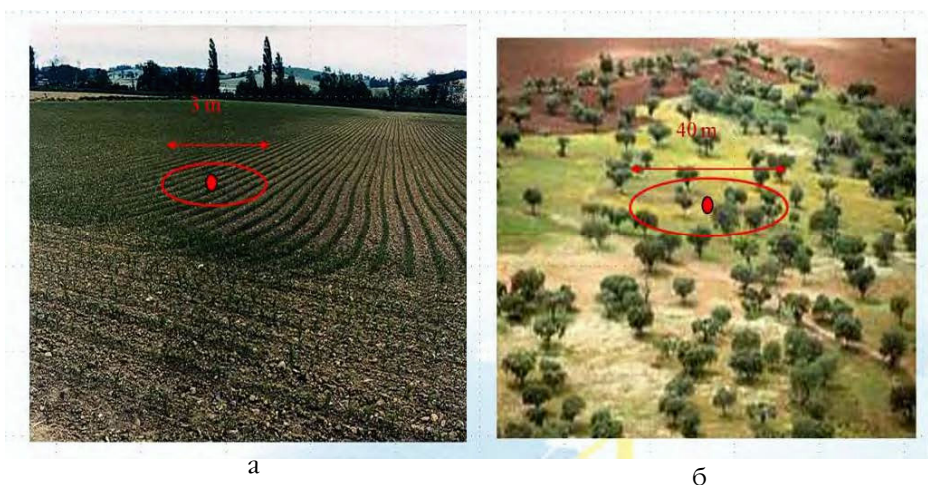


Рис. 4. Ілюстрація вибору: а) контрольної точки обстеження LUCAS (радіус 1.5 м); б) розширеного вікна обстеження (радіусом 20 м) в околі контрольної точки обстеження LUCAS при розрідженому покритті ділянки представниками кількох класів

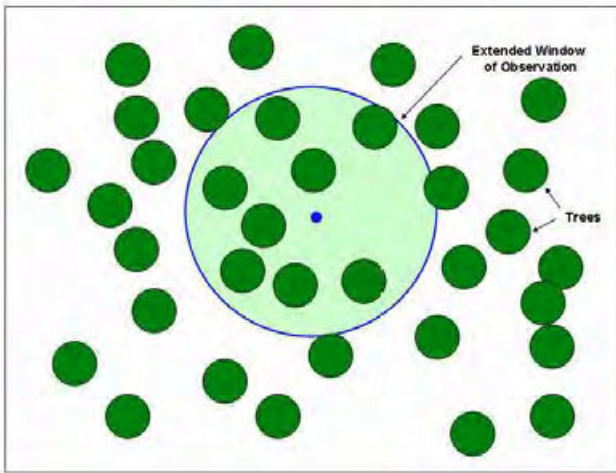


Рис. 5. Ілюстрація застосування розширеного вікна обстеження LUCAS в околі контрольної точки при розрідженому покритті ділянки представниками кількох класів

збільшується від традиційних 7 м^2 до 0.13 га , і у такому розширеному крузі спостереження використовуються свої спеціальні правила віднесення контрольної точки обстеження LUCAS, що знаходиться у центрі розширеного круга, до того чи іншого класу земного покриття/землекористування.

1.7. Використання методології і даних обстежень LUCAS

Дані про земний покрив і землекористування можуть бути використані для різних екологічних і соціально-економічних проектів, пов'язаних з діяльністю цілої низки структур Євросоюзу:

- Генеральний директорат з сільського господарства та розвитку сільських районів (Directorate-General for Agriculture and Rural Development) [22] Європейської комісії — для оцінки впливу сільського господарства на довкілля за допомогою агро-екологічних індикаторів (AEI), у тому числі для оцінки органічної речовини ґрунту і ерозії ґрунту, а також індикаторів ступеня штучних об'єктів у фізичній структурі ландшафтів у рамках інтеграції екологічних інтересів у спільній сільськогосподарській політиці після 2013 р. (Common Agricultural Policy (CAP) post-2013) [53];
- Генеральний директорат з питань охорони довкілля (Directorate-General for the Environment) [25] Європейської комісії — для індикаторів ефективності ресурсів, які є частиною стратегії Європа 2020 і для захисту ґрунту;
- Генеральний директорат з акцій у галузі клімату (Directorate-General for Climate Action) [7] Європейської комісії — для аналізу зміни клімату у межах Європейської програми змін клімату;
- Генеральний директорат з підприємництва та промисловості (Directorate-General for Enterprise and Industry) [24] Європейської комісії, де використання in-situ даних LUCAS сприяє процесам

виробництва, верифікації та валідації, що стосуються загальноєвропейських наборів даних, які описують основні типи рослинного покриття, що отримуються на основі супутникових зображень згідно з програмою спостережень Землі Copernicus [12];

- Європейське агентство з навколишнього середовища (European Environment Agency) [26] — для основного набору індикаторів (core set of indicators, CSI), індикаторів змін клімату (climate change indicators, CLIM) і впорядкування європейських індикаторів біорізноманіття (streamlining European biodiversity indicators SEBI);
- Генеральний директорат з акцій у галузі клімату (Directorate-General on Climate Action) [7] Європейської комісії — для статистики землекористування, змін у землекористуванні та статистики лісового господарства (land use, land use change and forestry, LULUCF) стосовно скорочення викидів парникових газів.

Конкретні приклади того, як ці дані використовуються у межах ініціатив Європейської комісії можна знайти за таким посиланням [32]. Зокрема, на сайті [32] можна знайти документи, які представляють такі приклади використання методології обстеження LUCAS (англійською мовою) (див. екранний знімок на рис. 6): Verification of Copernicus high-resolution layers, Production and validation of Corine Land Cover, Common Agricultural Policy, Regionalised Impact model (CAPRI), Agri-Environmental indicators on soil; Landscape structure and linear elements, The new soil strategy, Population density тощо.

2. CORINE — методологія формування бази даних земного покриття/землекористування у Європі і комп'ютерного картографування цих даних на основі фотоінтерпретації супутникових зображень

Проект CORINE Land Cover перебуває під спільним керівництвом Об'єднаного дослідницького центру (Joint Research Centre, JRC) та Європейського агентства з навколишнього середовища (European Environment Agency, EEA).

CORINE реалізує методологію, спрямовану на формування і періодичне оновлення бази даних CLC земного покриття у Європі і комп'ютерне картографування цих даних на основі фотоінтерпретації радіометрично і геометрично скоригованих орторектифікованих супутникових зображень, отриманих у межах, зокрема, проекту IMAGE, та інших супутникових проектів спостереження Землі.

Матеріал, поданий у розділі 2 статті, ґрунтується на аналізі електронних джерел [6, 13-19], викладених на сайті Європейської асоціації з довкілля (European Environment Agency, EEA) та на сайті

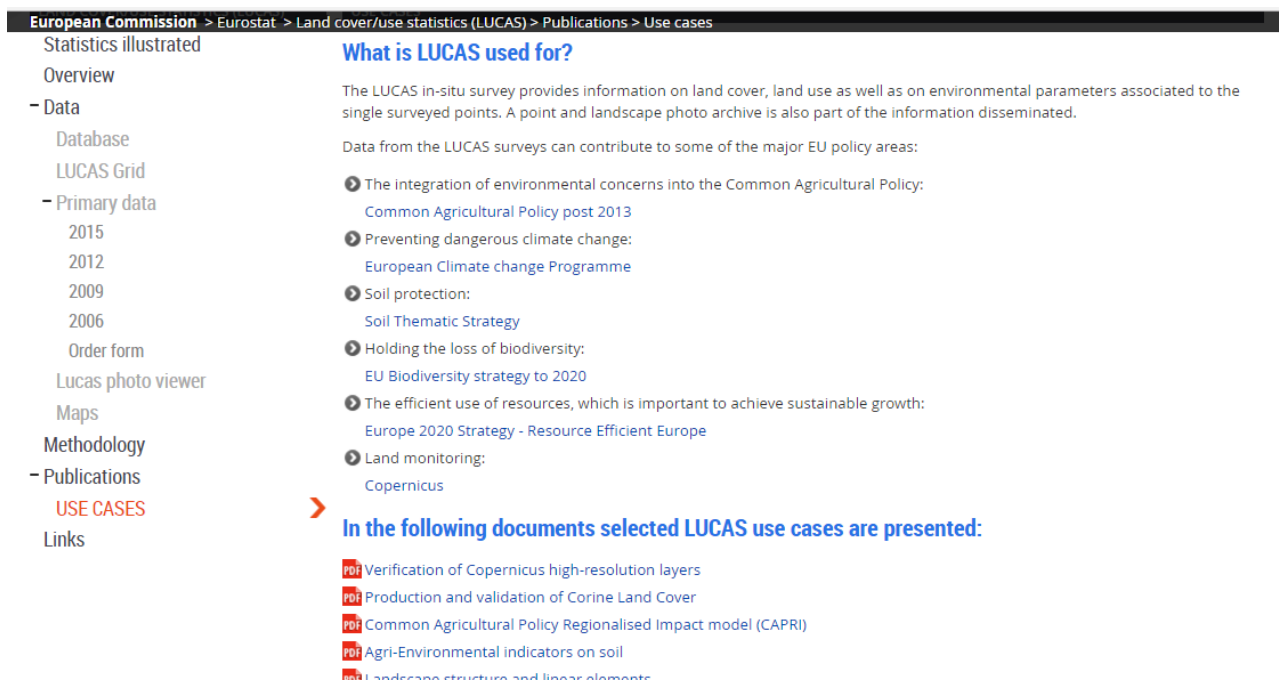


Рис. 6. Галузі та приклади використання методології і даних обстежень LUCAS

Ірландської асоціації з захисту довкілля (Environment Protection Agency, EPA).

База даних CLC є доступною в операційному режимі для більшості регіонів Європи за звітні 1990, 2000, 2006, 2012 роки у межах Copernicus Land Monitoring Service і містить інформацію про поточний стан ділянок з використанням мінімального блоку картографування розміром 25 га, а поріг для виявлення змін земного покриву встановлюється у розмірі 5 га, щоб не втратити істотні просторові зміни земного покриву [13, 18].

Мету програми Європейської комісії CORINE (Coordination of Information on the Environment — координація інформації про довкілля) можна сформулювати трьома положеннями:

- збір інформації про стан довкілля стосовно певних тем, які мають пріоритет для всіх держав — членів Євросоюзу;
- координування збору даних і організація інформації у державах — членах Євросоюзу та на міжнародному рівні;
- гарантування, що вся інформація є послідовною і що дані сумісні.

27 червня 1985 року Рада Євросоюзу за пропозицією Єврокомісії прийняла рішення про програму CORINE. Ця робоча програма Єврокомісії стосується “експериментального проекту для збору, координації та забезпечення узгодженості інформації про стан навколишнього середовища і природних ресурсів у межах європейського співтовариства”.

Додаткова мета програми CORINE полягає у тому, щоб об’єднати всі численні спроби, які були зроб-

лені протягом багатьох років на різних рівнях (міжнародному, євроспільноті, національному та регіональному), щоб отримати більше інформації про довкілля і його зміни.

Існує два основних типи додаткових дій, що були прийняті для досягнення цілей програми:

- розроблення процедур для упорядкування, стандартизації та обміну даними про довкілля у державах-членах ЄС;
- створення географічної інформаційної системи для надання інформації про довкілля, яка має важливе значення при підготовці і здійсненні політики європейського співтовариства.

2.1. Проект класифікації земного покриву CORINE

Проект класифікації земного покриву є частиною програми CORINE і покликаний забезпечити послідовно локалізовану географічну інформацію про земний покрив з 12 держав-членів європейського співтовариства.

Проект є необхідним з таких причин:

- попередня робота за інформаційною системою CORINE показала, що інформація про земний покрив, разом з інформацією про рельєф місцевості, дренажні системи та ін., має важливе значення для керування навколишнім середовищем і природними ресурсами;
- інформація про земний покрив є базовою для різних CORINE-субпроектів та баз даних;
- у всіх країнах європейського співтовариства інформація про земний покрив, доступна на на-

ціональному рівні, є гетерогенною, фрагментованою, і її важко отримати.

На рівні Європейського союзу, у системі CORINE, інформація про земний покрив і його зміни є безпосередньо корисною для визначення і реалізації політики довкілля і може бути використана разом з іншими даними (про клімат, ухили, ґрунт і т. д.), щоб зробити комплексні оцінки (наприклад, картографування ризиків ерозії).

Переваги використання одного спільного проекту для задоволення потреб як Європейського союзу, так і на національному і регіональному рівнях, потребує значного впливу на загальні риси проекту земельного покриву: масштаб, площа найменшої одиниці (блоку) картографування і номенклатура класів.

2.1.1. Взаємозв'язок між картографічним масштабом подання інформації про земний покрив та характером завдань на різних рівнях прийняття рішень

З метою раціонального використання довкілля, інформація про земний покрив має відповідати спеціальним вимогам: вона повинна бути представлена як у картографічній, так і у статистичній формі, і повинна бути забезпечена можливість відтворювати інформацію у різних масштабах, щоб вона була корисною на різних рівнях прийняття рішень.

У залежності від картографічного масштабу подання даних про земний покрив виникають різні типи задач, у яких використовуються картографовані дані земного покриву, та за картографованою інформацією приймаються рішення на різних рівнях моніторингу і керування довкіллям:

Картографічний масштаб 1:1 000 000. За даними супутникового моніторингу відслідковуються основні довгострокові тенденції у рослинному покриві. На основі створених карт такого масштабу проводиться зіставлення базових національних та міжнародних програм моніторингу земного покриву та підготовка основних програм розвитку досліджень на міжнародному рівні

Картографічний масштаб 1:100 000. Використовується для завдань екологічного менеджменту на національному рівні. Проводиться моніторинг з ідентифікацією та визначенням місцезнаходження основних класів земного покриву та на його основі виробляється національна екологічна політики у проблемних областях. Реалізується вироблення національної політики землекористування.

Картографічний масштаб 1:25 000. Використовується при картографуванні результатів моніторингу регіонального земного покриву та для завдань регіонального екологічного менеджменту у критичних проблемних областях.

До номенклатури осіб, які приймають рішення стосовно різних масштабів на різних рівнях, необ-

хідно включити керівників, які приймають рішення, щоб виявляти, аналізувати і контролювати використання земель у районах, що знаходяться у сфері їх відповідальності. Для органів, що приймають рішення, повинна бути передбачена можливість оновлення інформації про земний покрив в областях їх компетенції легко й оперативно.

2.1.2. Переваги використання супутникових даних для картографування земного покриву у проекті CORINE

Запуск супутників спостереження Землі, починаючи з 90-х років 20 століття, істотно поліпшив ситуацію із складанням інвентаризації рослинного покриву на великих територіях. Маркетинг географічної інформації та розроблення ефективного програмного забезпечення сприяло простішому використанню інформації з цих ресурсів і надало можливості оновлювати цю інформацію більш швидкими темпами. Таким чином, рекомендації Ради ЄС використовувати супутникові дані є цілком виправданими у частковому випадку реалізації проекту CORINE.

На жаль, у джерелах [6, 13–19] викладення обмежується аналізом супутникових даних космічних систем (КС), які використовувались у проекті CORINE до 2006 р.: Landsat (MSS або TM) і SPOT.

Але вже тоді спостереження Землі за допомогою цих космічних систем забезпечували користувачів супутниковими даними, які мали такі характеристики з цілою низкою переваг порівняно з іншими (не супутниковими) геопросторовими даними:

- супутникові дані доступні на регулярній основі для всіх точок на земній кулі (за умови, що має місце допустимий процент хмарності). З врахуванням моделей хмарності над деякими країнами, передбачалося, що на 2006 р. всі 12 країни ЄС можна було покрити спостереженнями від цих КС два рази на рік;
- супутникові дані, наявні тоді у продажу, охоплювали великі площі: 35 000 км² для кожної сцени Landsat (MSS або TM), і 3600 км² для кожної SPOT сцени;
- супутникові дані є об'єктивними: система сенсорів прийому-передачі не передбачає втручання людини;
- супутникові дані зібрані з врахуванням особливостей поверхні Землі;
- супутникові дані надаються у цифровій формі, яка має ряд переваг завдяки досягненням у галузі цифрового оброблення даних.

Дані аерокосмічного дистанційного зондування можуть бути використані у створенні карт земного покриву. Вибір такої сукупності не є довільним, а зроблений на основі технічних (і фінансових) специфікацій, які б відповідали потребам

користувачів. При розгляді переваг супутникових даних для створення карт земного покриття слід відзначити, що необхідне професійне оброблення даних за сучасними методологіями з врахуванням проблеми великих обсягів геопросторових даних. Супутникові дані використовуються на строгій систематичній основі, у поєднанні з іншими наявними геопросторовими даними земельного покриття, зокрема даними земельних кадастрів.

2.1.3. Базові принципи методології CORINE стосовно картографування земного покриття

2.1.3.1. Масштаб картографування

У проєкті CORINE картографування земного покриття обрано масштаб 1:100000.

Причини цього вибору такі:

- дані земного покриття, представлені у менших масштабах (1: 250 000, 1: 500 000) не є достатньо докладними, щоб бути корисним для Єврокомісії. У такому масштабі, розмір найменшої одиниці картографування дуже великий і відповідна номенклатура включає відносно невелику кількість класів (наприклад, рівень 2 номенклатури нараховує близько 15 класів);
- підстильна поверхня у такому масштабі 1: 100000 добре підходить для використання як основа для конкретних досліджень у межах однієї країни, наприклад, попередніх досліджень стосовно проєктів у галузях цивільного розвитку або охорони довкілля;
- моніторинг таких явищ як берегова ерозія сумісний з проєктами, які використовують менший масштаб (наприклад, 1: 1000000) порівняно з базовим масштабом 1:100000, оскільки дистанційне зондування дозволяє проводити узагальнення на цьому базовому картографічному масштабі;
- базовий масштаб 1:100000 узгоджується з бюджетними обмеженнями і встановленими термінами для реалізації програми CORINE для картографування земного покриття у Європейському союзі;
- карти масштабу 1:100000 можуть бути досить легко оновлені на регулярній основі;
- масштаб 1: 100000 є загальним масштабом картографування для більшості країн.

2.1.3.2. Означення одиниці площі і розмір найменшої одиниці картографування

До тематичного картографування біофізичної покриття поверхні Землі можна підходити з двох різних точок зору:

- земний покрив, в основному, стосується природи ознак (ліс, сільськогосподарські культури, водойми, голі скелі та ін.);
- використання земель пов'язане з соціально-економічними функціями (сільське господарство,

середовище існування, охорона довкілля) основних поверхонь земного покриття.

У багатьох випадках створення тематичних карт здійснюється для цілей керування економікою і тому стосується землекористування.

На картах земного покриття, на перший погляд, можна було б неявно прийняти кадастрову одиницю землі як одиницю площі. Проте, одиниця площі у кадастрі, визначена законом, за своєю суттю, обмежується великомасштабними картами землекористування. Кадастрові одиниці дуже часто неоднорідні за своїм складом, а їх площа може варіюватися від декількох квадратних метрів до декількох тисяч гектарів.

З картами рослинності, які є формою карти земельного покриття, проблеми картографування одиниці площі виникати не повинно.

Результати деяких статистичних обстежень можуть свідчити про те, що означення одиниці площі є не дуже проблематичним. Проте, слід пам'ятати, що вибірка обстежень формується з окремих точок, які належать поверхням.

З метою сприяння розумінню і використанню одиниці площі картографування, ця одиниця визначається шляхом перерахування її основних характеристик:

- одиниця площі картографування відповідає або області, покриття якої можна вважати однорідним (трава, вода, ліс і т. д.) або комбінації елементарних однорідних областей які у своїх варіаціях представляють характеристики структур земного покриття (що охоплюють великі поверхні, які можуть розглядатися як такі, що утворюють єдиний тип рослинного покриття у державах-членах Європейського союзу);
- з огляду на масштаб, блок одиниці площі повинен являти собою значну частину площі землі, яка явно відрізняється від навколишніх одиниць, його структура з точки зору земельного покриття повинна бути достатньо стабільною, щоб служити одиницею для збору більш точної інформації.

У проєкті CORINE блок одиниці площі картографованого земного покриття несе дві функції:

- це концептуальний інструмент для аналізу рослинного покриття;
- це інструмент для організації даних супутникового дистанційного зондування таким чином, що одиниця площі земного покриття являє собою конкретне представлення гетерогенності і різноманітності об'єктів, що покривають земну поверхню.

При означенні цієї одиниці завжди слід мати на увазі, що, у дійсності, земний покрив завжди проявляється як сукупність поверхонь, які у більшій чи меншій мірі однорідні (гетерогенні), незалежно від використовуваного масштабу.

Крім того, незалежно від того, як вони були оброблені, дані, отримані за допомогою космічних систем

дистанційного зондування, не дають тонкого уявлення про реальну ситуацію з земним покривом, — земний покрив не може картографуватися у всій його тонкій складності/різноманітності. З врахуванням цих обставин статистична просторова одиниця земного покриття повинна бути визначена так, щоб для всіх видів діяльності з картографування земного покриття задовольняти таким двом вимогам:

- вміст одиниці площі земного покриття повинен надати тематичні дані, необхідні для користувачів;
- одиниця площі земного покриття має забезпечити прийнятні уявлення про реальний стан земного покриття.

Площа поверхні найменшої одиниці картографування земного покриття у проекті CORINE становить 25 га.

Вибір одиниці мінімальної площі картографування, з метою задоволення зіставлюваності (порівнюваності), має відповідати трьом основним вимогам:

- чіткість друкованої карти, побудованої на основі одиниці мінімальної площі картографування, і легке оцифрування на основі фотоінтерпретації супутникових знімків;
- одиниця мінімальної площі картографування повинна забезпечити подання істотних особливостей рельєфу місцевості з точок зору, які служать тематичній меті проекту;
- одиниця мінімальної площі картографування повинна реалізувати компроміс між експлуатаційними витратами за кожним локальним (зокрема, національним) проектом та виконанням вимог до інформації про земельний покрив у межах бюджетних обмежень за генеральним (зокрема у межах Європейського союзу) проектом.

Беручи до уваги ці вимоги, встановлено мінімальний розмір одиниці площі картографування земного покриття 25 га.

У масштабі 1:100 000 площа одиниці картографування земного покриття 25 га може бути представлена на карті квадратом площею $5 \times 5 \text{ мм}^2$ або кругом з радіусом 2.8 мм.

2.1.3.3. Номенклатура класів земного покриття за проектом CORINE

У будь-якій картографічній інвентаризації земного покриття між собою нерозривно пов'язані чотири елементи:

- масштаб;
- площа поверхні найменшої одиниці для картографування;
- природа використовуваної основної інформації, у даному випадку — дані спостереження Землі з супутників;
- структура номенклатури і кількості одиниць, які вона містить.

На основі перших трьох перерахованих вище елементів і попередньої номенклатури, використовуваної для обґрунтування класифікації земного покриття, команда з класифікації земного покриття розробила кінцеву номенклатуру проекту.

Ця номенклатура і супутні означення були предметом численних дискусій як з кінцевими користувачами бази даних CORINE так і з різними експертами в державах—членах ЄС.

На поданий на рис. 7 структурній схемі наведені логічні зв'язки, які були використані як основа для означення номенклатури класів земного покриття [13, 16].

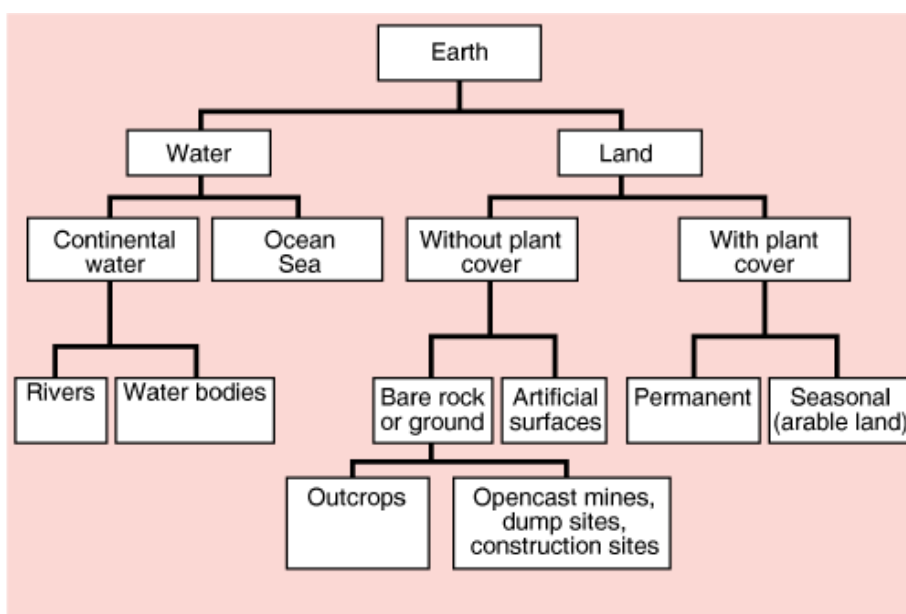


Рис. 7. Структурна схема номенклатури класів земного покриття за проектом CORINE

На основі цієї логічної структурної схеми обрана номенклатура класів земного покриття повинна відповідати певній низці вимог:

- повинна бути забезпечена можливість відобразити всю територію Європейського союзу; інакше кажучи, у номенклатурі не може бути ніякої категорії класу для некласифікованої землі;
- найменування класів повинні відповідати потребам майбутніх користувачів географічної бази даних, тобто бази CORINE;
- термінологія верхнього рівня класифікації повинна бути однозначною і уникати нечітких (розпливчатих) понять, до яких часто можуть вдаватися багато спеціалістів з фотоінтерпретації у випадках, коли зустрічаються невизначені області.

Крім того, слід пам'ятати, що номенклатура класів застосовується до відносно великих одиниць площі, тобто 25 га і більше, а у цілому кількість позицій у номенклатурі — це завжди компроміс між потребами користувача і фінансовими обмеженнями, які впливають на проект.

Термінологія номенклатури CORINE. Більшість номенклатур класів, що використовуються для картографування статистичних відношень на основі геопросторових даних, описують землекористування (land use). Номенклатури створені з метою компіювання відображення людської діяльності, пов'язаної з використанням землі. Тому термінологія, доступна для позначення одиниць у номенклатурі земного покриття (land cover) стосуються землекористування (land use). У зв'язку з цим специфічну термінологію для інвентаризації типів земного покриття у межах проекту CORINE ще належить розробити. Це досить складно, у межах одного проекту створити номенклатуру, яка охоплювала б кожен аспект одиниці площі і щоб за створеною номенклатурою можна було здійснювати картографування.

Рівні географічного застосування. Номенклатура класів земного покриття CORINE складається з трьох рівнів:

- перший рівень (5 найменувань) визначає основні категорії (абстрактні в більшій чи меншій мірі) земного покриття на планеті;
- другий рівень (15 найменувань) призначений для використання у масштабах 1:500000 і 1:1000000;
- третій рівень (44 найменувань) використовується для проекту у масштабі 1:100000.

Необхідно піклуватись про те, щоб новостворені елементи номенклатури були сумісні з масштабом, розміром найменшої одиниці площі для картографування і з основною інформацією, тобто з супутниковими даними.

Трирівнева номенклатура класів CORINE Land Cover наведена у таблиці 3. [13, 16]. Слідом за наведеною [13, 16] номенклатурою класів земного покриття йде детальне означення класів номенклатури кожного рівня ієрархії.

2.2 Методи CORINE Land Cover

Оскільки методологія та інформаційна технологія CORINE Land Cover спрямована на формування і періодичне оновлення бази даних CLC земного покриття у Європі і комп'ютерне картографування цих даних на основі фотоінтерпретації радіометрично і геометрично скоригованих орторектифікованих супутникових зображень, то власних унікальних методів проект CORINE не має, а спирається на методи оброблення супутникових даних, побудови скоригованих псевдокольорових супутникових зображень, методи їх ефективної автоматизованої фотоінтерпретації, валідації та картографування.

Структурна схема реалізації методів CORINE Land Cover зображена на рис. 8 [13].

На рис. 8 відображена послідовна реалізація таких методів: попередні підготовчі операції та попередня обробка супутникових даних, створення псевдокольорових супутникових зображень, комп'ютерна автоматизована фото інтерпретація з контрольованою якістю, валідація результатів фотоінтерпретації, що включає за необхідності і наземне засвідчення результатів, оцифрування результатів у векторній геоінформаційній системі з топологічною структурою з метою сумісності з структурою бази даних земного покриття.

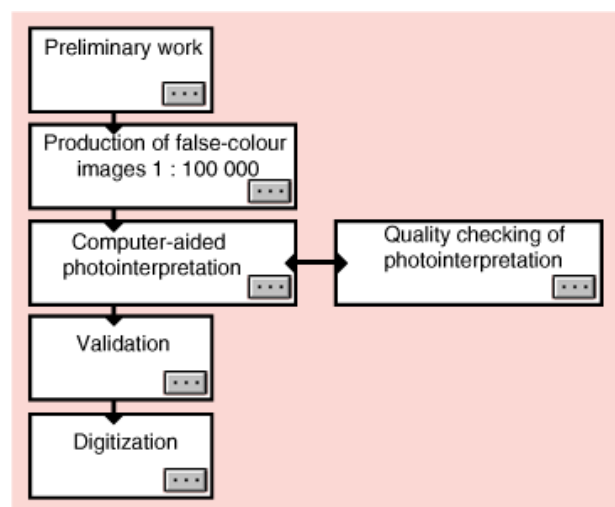


Рис. 8. Структурна схема реалізації методів CORINE Land Cover

2.2.1. Методи створення псевдокольорових супутникових зображень

Перед автоматизованою комп'ютерною фотоінтерпретацією необхідно здійснити автоматизовану обробку цифрових супутникових даних яка включає, зокрема, радіометричне і геометричне коригування та передискретизацію зображень, щоб отримати покращені псевдокольорові зображення у масштабі 1:250 000 та 1:100 000. Такі зображення

Таблиця 3.
Номенклатура класів CORINE Land Cover

Level 1	Level 2	Level 3
1. Artificial surfaces	1.1. Urban fabric	1.1.1. Continuous urban fabric 1.1.2. Discontinuous urban fabric
	1.2. Industrial, commercial and transport units	1.2.1. Industrial or commercial units 1.2.2. Road and rail networks and associated land 1.2.3. Port areas 1.2.4. Airports 1.2.4. Airports
	1.3. Mine, dump and construction sites	1.3.1. Mineral extraction sites 1.3.2. Dump sites 1.3.3. Construction sites
	1.4. Artificial non-agricultural vegetated areas	1.4.1. Green urban areas 1.4.2. Sport and leisure facilities
2. Agricultural areas	2.1. Arable land	2.1.1. Non-irrigated arable land 2.1.2. Permanently irrigated land 2.1.3. Rice fields
	2.2. Permanent crops	2.2.1. Vineyards 2.2.2. Fruit trees and berry plantations 2.2.3. Olive groves
	2.3. Pastures	2.3.1. Pastures
	2.4. Heterogeneous agricultural areas	2.4.1. Annual crops associated with permanent crops 2.4.2. Complex cultivation 2.4.3. Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation 2.4.4. Agro-forestry areas
3. Forests and semi-natural areas	3.1. Forests	3.1.1. Broad-leaved forest 3.1.2. Coniferous forest 3.1.3. Mixed forest
	3.2. Shrub and/or herbaceous vegetation association	3.2.1. Natural grassland 3.2.2. Moors and heathland
	3.3. Open spaces with little or no vegetation	3.2.3. Sclerophyllous vegetation 3.2.4. Transitional woodland shrub 3.3.1. Beaches, dunes, and sand plains 3.3.2. Bare rock 3.3.3. Sparsely vegetated areas 3.3.4. Burnt areas 3.3.5. Glaciers and perpetual snow
4. Wetlands	4.1. Inland wetlands	4.1.1. Inland marshes 4.1.2. Peatbogs
	4.2. Coastal wetlands	4.2.1. Salt marshes 4.2.2. Salinas 4.2.3. Intertidal flats

легко інтерпретувати і отримати цифрові дані, які є легко доступними для візуалізації і подальшої обробки в інтерактивній системі. Ці дані є фактично побічним продуктом побудови основних картографічних образів класифікації земного покриття за методологією CORINE Land Cover.

Загальна структурна схема реалізації методу створення псевдокольорових зображень зображена на рис. 9 [13].

Створення псевдокольорових зображень для фотоінтерпретації включає в себе такі етапи [13]:

- Усунення смугового шуму та пропущених пікселів у сирих зображеннях, зумовлених неузгодженістю у характеристиках детекторних елементів та збоями у роботі ПЗЗ пристроїв (destriping).
- Видалення артефактів, зумовлених збоями у роботі сенсорів.
- Радіометрична корекція та радіометричне калібрування.

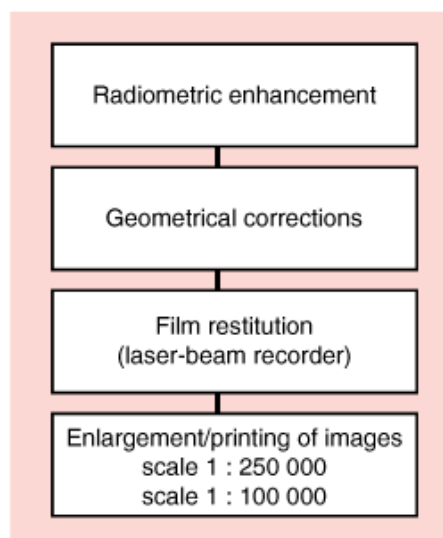


Рис. 9. Загальна структурна схема реалізації методів створення псевдокольорових зображень

- Геометрична корекція та орторектифікація.
- Повторна дискретизація.
- Покращення якості знімка.

Реалізація усунення смугового шуму та пропущених пікселів у сирих зображеннях зумовлена тим, що якість зображень, отриманих шляхом дистанційного зондування через ці фактори часто погіршується. Відновлення пропущених пікселів носить назву заміна “поганих” пікселів. Процедури усунення шуму можна розділити на алгоритми у просторовій області та алгоритми у частотній області. Найпростіший алгоритм у частотній області полягає в обробленні зображення фільтром нижніх частот з використанням дискретного перетворення Фур’є. Запропоновано методи з етапами розпізнавання індуковано-частотних компонентів з використанням спектра потужності, потім видалення смугового шуму за допомогою потужності звичайно-імпульсного фільтра. Для усунення смугового шуму використовується ще й вейвлет-аналіз, який має переваги масштабування і властивостей з виявлення й усунення шуму. Для “заповнення” пропущених пікселів зображення, зазвичай, використовуються методи найближчого сусіда, методи середнього прилеглих точок або медіани прилеглих точок.

Через випадкові несправності сенсорів можуть виникнути численні аномалії у необроблених даних, так звані артефакти, які повинні бути видалені. Серед них найчастіше мають місце такі: відсутність або нерегулярність ліній сканування; наявність насичених пікселів на зображеннях, що відповідають засвіченим земним об’єктам: теплиці, лісові пожежі, тощо; невеликі ділянки, менші (15×15) пікселів, що породжують розмивання пікселів). Ці аномалії повинні бути вилучені шляхом застосування методів усереднення і фільтрації.

Геометрична корекція полягає у геометричному виправленні цифрових даних знімків на основі геоприв’язування з використанням стандартних топографічних карт кожної країни. Геометрично скореговані дані будуть використані для отримання зображень в масштабі 1: 100 000 таким чином, щоб об’єкти на супутникових зображеннях, топографічній карті та результати автоматизованої комп’ютерної інтерпретації земного покриву мали чітку взаємну відповідність. Таким чином, кожен результат фотоінтерпретації земного покриву, отриманий на основі низки супутникових зображень, має точно збігатися з об’єктами на топографічній картографічній основі.

Призначення геометричних поправок полягає у виправленні різноманітних спотворень, які можуть виникнути (зміна орієнтації супутника і орбіти, руху Землі під супутником, панорамного ефекту і т. д.), а також для перетворення даних, щоб отримати зображення, яке є узгодженим з системою, що використовується для проектування стандартної топографічної карти. Ця трансформація досягається шля-

хом узгодження набору групи визначених на карті наземних контрольних точок (ground control points, GCP) з відповідними точками на супутниковому зображенні. Точки повинні бути зафіксовані (перехрестя доріг, кінці злітно-посадочних смуг і т. д.) і легко ідентифікуватися на супутниковому зображенні.

Необхідно враховувати, що при внесенні поправок щодо висоти кожної контрольної точки використовується геометричне програмне забезпечення корекції, а, отже, має бути передбачене вимірювання висоти контрольних точок. Похибки, що виникають у результаті паралаксу, будуть серйозними, якщо місцевість є горбистою.

Кожна наземна контрольна точка характеризується своїми координатами на зображенні, координатами рядків і стовпців у вихідних даних зображення та координатами точки на карті — широта і довгота (або в іншій системі координат, властивій проекції, яка використовується). Цих точок повинно бути достатньо за кількістю, і вони мають рівномірно розподілятися по всьому зображенню. Ці дані можуть бути використані для обчислення передавальної функції між координатами необробленого зображення і координатами кожної точки у проекції, яка використовується.

Це можна зробити двома способами: регресія за методом найменших квадратів; жорстка модель з врахуванням одночасно координат пари точок з зображення і з карти та параметрів супутникового польоту. Останній спосіб дає найкращі результати.

Передавальна функція при цьому подається многочленом; рекомендується починати з полінома низького степеня, щоб він не враховував локальних аберацій. Ці перетворення, звичайно, повинні бути перевірені для підтвердження якості одержуваної геометрії.

Скориговане перетворення застосовується до всього зображення, так що положення кожної точки коригованого зображення може бути визначене у необробленому зображенні. Значення координат нових точок визначаються обраним методом повторної дискретизації.

Операція повторної дискретизації (передискретизації, resampling) виконується за двома етапами [15].

На першому етапі початкова дискретизація здійснюється за допомогою інструментів на борту супутника. Це просто дискретизація неперервних вимірювань у пікселях заданих розмірів і позицій. Саме цей процес відповідає створенню необробленого супутникового зображення.

Другий етап — власне повторна дискретизація, складається з надання значень, розмірів і/або позицій пікселям, які були змінені у порівнянні з оригінальними пікселями (у результаті геометричної корекції). Результатом цього процесу є передискретизоване виправлене зображення.

У той час як на першому етапі формування вибірки здійснюється за усталеною процедурою, на дру-

гому етапі операція може бути виконана з використанням різних методів. Вони бувають трьох основних типів: методи простого вибору, методи інтерполяції та методи відновлення. Кожен метод дає різні результати, а час розрахунку може коливатися у широких межах. Відновлення дає найкращі результати. Однією з головних переваг відновлення є те, що воно допускає зменшення розміру пікселя, відтворюючи інформацію дуже близько до реальності.

Методи інтерполяції реалізуються за допомогою різноманітних згорток: білінійна, кубічна і т. д., які обчислюються з врахуванням більшої чи меншої кількості точок в околі вихідного пікселя. Вибір згортки, яка буде використовуватися, очевидно, залежить від можливостей програмного забезпечення. Кінцева якість зображення має контролюватись під час обчислень. Отримані шляхом інтерполяції зображення є “усередненими”.

2.2.2. Автоматизована комп’ютерна фотоінтерпретація супутникових зображень

Автоматизована комп’ютерна фотоінтерпретація супутникових зображень є процесом екстраполяції на основі ітераційного керування зі зворотним зв’язком і реалізується так за схемою, зображеною на рис. 10 [13].

На першому етапі здійснюється розмежування шляхом оконтурювання і маркування на псевдо-кольорових зображеннях меж областей, що представляють окремі одиниці земного покриття.

За допомогою ключів фотоінтерпретації, допоміжних документів та аерофотознімків стратифікованій області присвоюється найменування класу номенклатури (ідентифікація).

Здійснюється екстраполяція розмежування та ідентифікації на всі частини зображення, які мають схожі характеристики (за кольором, структурою, текстурою).

На другому і третьому етапах розмежування/ідентифікації проводиться додаткова обробка різнорідних картографічних даних з реалізацією просторової фільтрації зображень, аналізу основних компонент, обчислення вегетаційних індексів, керованої класифікації.

Після додаткової обробки на другому і третьому етапах розмежування/ідентифікації процес інтерпретації псевдокольорових зображень практично завершено. На цьому етапі керівник національного проекту повинен вивчити проблеми, що залишилися щодо задоволення вимог проекту. Це передбачає визначення тих областей, які не були остаточно оконтурені або ідентифіковані або тих ділянок, щодо яких мають місце альтернативні рішення з ідентифікації. Такі зони розділяються на дві групи: області, щодо яких польові підсупутникові дослідження дозволяють прийняти єдине рішення; області, для ідентифікації яких буде достатньо вивчити їх аерофотознімки.

Щодо важко ідентифікованих ділянок проводяться польові верифікаційні обстеження. Польові дослідження проводяться для досягнення двох різних цілей:

- забезпечити підсумкову відповідь на будь-які питання інтерпретації, які виявляються невирішеними після додаткової стадії обробки.
- забезпечити загальну перевірку на якість результатів фотоінтерпретації.

Роботи над цими двома цілями повинні виконуватися одночасно. При цьому має важливе значення забезпечення того, щоб вартість підсупутникових обстежень не перевищувала 10% від загального бюджету національного проекту земельного покриття.

2.2.3. Оцифрування результатів фотоінтерпретації у проекті CORINE

Результати національних оцінок земельного покриття проектів CORINE повинні бути представлені у цифровій формі з таких причин:

- для включення у базу даних CORINE для безпосереднього використання або перехресних посилань з іншими тематичними базами даних;
- для використання у національних базах даних про природні ресурси;
- для створення тематичних карт у різних масштабах і з різними рівнями узагальнення.

Центральна команда CORINE має отримувати оцифровані дані у картографічній проекції систем, які використовуються для створення національних стандартних карт. Команда несе відповідальність за перетворення цих даних до системи проекцій, яка використовується географічною базою даних

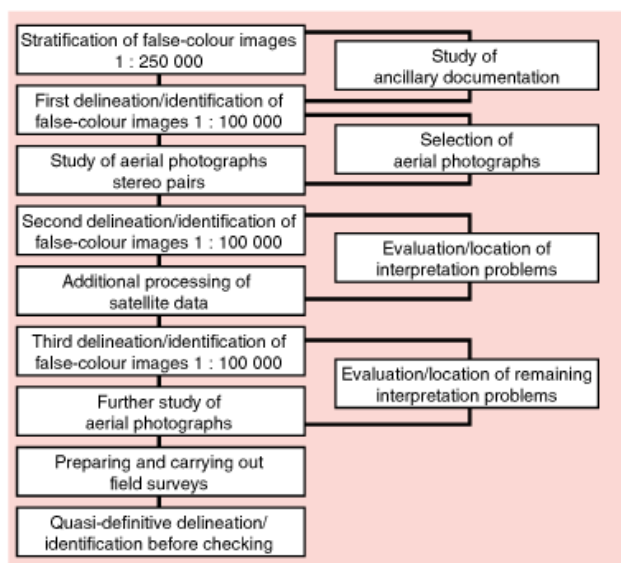


Рис. 10. Схема реалізації процедури автоматизованої комп’ютерної фотоінтерпретації супутникових зображень

CORINE (азимутальна проекція еквівалентних площ Ламберта).

Є два можливих підходи до оцифрування результатів інтерпретації за створеними векторними шарами земного покриття.

Перший полягає в оцифруванні меж кожної одиниці земного покриття з використанням ряду векторних координат за допомогою дигітайзера. При цьому повинен бути записаний у цифровому форматі ідентифікатор, який відповідає кожному створеному полігону.

Другий підхід полягає у використанні сканера для створення карти високої чіткості растрового зображення земельного покриття і перетворенні його у векторне зображення, використовуючи програму для перетворення растрових даних у векторні. Різні одиниці рослинного покриття можуть бути ідентифіковані або шляхом редагування векторного зображення вручну або шляхом створення прозорих плівок для кожної категорії рослинного покриття і сканування кожної з них. Всі ці методи є прийнятними за умови, що кінцеві дані являють собою векторні дані, і є достатньо точними та структурованими.

На рис. 11 зображена загальна схема процедури оцифрування результатів фото інтерпретації у проєкті CORINE Land Cover [13].

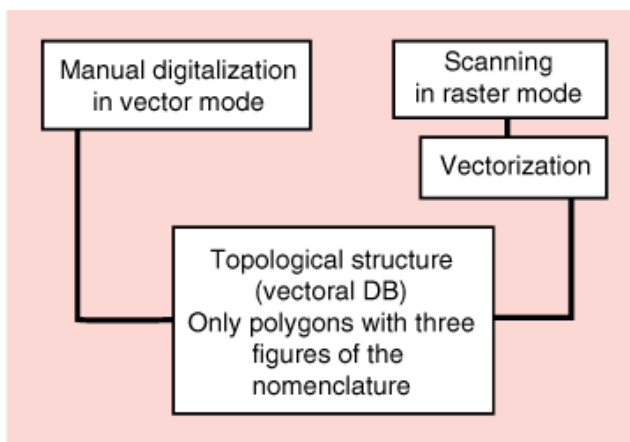


Рис. 11. Загальна схема процедури оцифрування результатів фотоінтерпретації у проєкті CORINE Land Cover

Оцифрування результатів інтерпретації земного покриття повинне бути сумісним з комплексною структурою бази даних CORINE. Для цієї мети було обрано програмне забезпечення географічної інформаційної системи ГІС ARC/INFO [13]. ARC/INFO є векторною ГІС з топологічною структурою. Це означає, що структура і зв'язки між областями окремих одиниць, таких як точки, дуги і полігони (багатокутники) явно або неявно зберігаються у базі даних. Відповідно, чи були зібрані дані земного покриття вручну чи шляхом сканування, дані повинні

бути передані у базу даних CORINE з використанням топологічно структурованих векторних файлів.

Як було зазначено, у проєкті класифікації земного покриття CORINE беруться до уваги тільки одиниці з мінімальною площею поверхні. Найменша площа поверхні, яка відображається на карті, становить 25 га. Можуть бути відображені тільки лінійні об'єкти, понад 100 м завширшки за розміром (1 мм у масштабі 1:1 000 000). На цій основі, точкові об'єкти не розпізнаються і не відображаються, а лінійні властивості (ознаки) інтерпретації CORINE Land Cover, які мають певну ширину, повинні бути оцифровані і їх межі визначаються як межі подовгастих поверхонь, тобто, як багатокутників.

Для представлення інформації про земний покрив основні топологічні елементи ARC/INFO, структуровані у картографічний файл, є полігонами. Вони складаються з ліній (дуг), які визначають їх межі. Межі полігонів оцифровуються як лінії і кожен полігон має відповідну точку мітки, довільну точку, розташовану всередині полігону. ARC/INFO створює полігон, призначаючи коди ліній, які визначають його межі.

Коди ліній описують, який полігон знаходиться зліва, а який праворуч від кожної лінії (дуги). Кожна ознака має відповідне геокодоване значення і тематичне значення. Наприклад, якщо ознакою є ліс, його геокодоване значення може бути виражене у широті/довготі і його тематичне значення може бути таким — хвойні дерева. У випадку міток точок ідентифікатор є номером категорії земельного покриття у номенклатурі класів CORINE Land Cover.

Відповідна топологія та точність оцифрування задаються такими умовами:

1. Межі земельної покриття одиниць (полігонів) повинні бути оцифровані у формі дуг (ліній), а не у формі списку координат, що визначають полігони.
2. Вузли повинні відповідати перетинам дуг.
3. Точки повинні бути записані з відхиленням не більше 0,4 мм від їх фактичного положення на базовій карті; щонайменше, 95% від усіх точок повинно мати відхилення менше, ніж 0,2 мм від їх справжнього положення.
4. Жодна точка або лінія не може бути відображена більше, ніж один раз на оцифрованій карті.
5. Полігони мають бути закодованими з посиланням на точку мітки кожного з полігонів, яка не обов'язково знаходиться у центрі багатокутника. Зовнішній ідентифікатор повинен відповідати елементу номенклатури класів CORINE Land Cover.
6. Кількість одиниць земного покриття повинна бути такою ж, як кількість точок міток.
7. Всі полігони повинні бути замкнутими. Не повинно бути жодних відкритих дуг.
8. Ознаки, розташовані на краю листа карти, повинні бути точно узгоджені у кінцевому (підсумковому) файлі.

9. Не може бути використана жодна процедура лінійного згладжування.

Як оцифровані вручну дані, так і дані сканування растрів, передаються у базу даних CORINE з використанням топологічно структурованих векторних файлів, і на їх основі можуть бути побудовані тематичні карти земного покриття у різних масштабах і з різними рівнями узагальнення.

Найменша площа картографованої поверхні на карті CORINE становить 25 га. Основні топологічні елементи в ARC/INFO, структуровані в картографічний файл, є полігонами, точкові об'єкти не відображаються, а лінійні об'єкти шириною понад 100 м, представлені полігонами.

При створенні єдиної бази даних Європейського союзу з окремих національних даних, різноманітні національні системи проєкцій повинні бути зведені до єдиної прийнятої у CORINE азимутальної проєкції рівновеликих площ Ламберта.

2.2.4. Валідація в CORINE Land Cover

При плануванні валідаційних спостережень необхідно, щоб їх вартість залишалась розумною порівняно з вартістю формування бази даних CORINE Land Cover. Якщо можливо, обстеження повинно проводитися одразу після завершення створення бази даних командою, яка не брала участі у роботі з фотоінтерпретації земного покриття на національному рівні.

З врахуванням характеру бази даних покриття CORINE Land Cover, перевірка повинна проводитися на репрезентативній вибірці даних, отриманій методом випадкового відбору [13].

При реалізації випадкового відбору, по-перше, статистичний додаток бази даних в області дослідження створює таблицю, що дає розбиття одиниць земного покриття за позиціями номенклатури та та-

кими діапазонами площ області: від 0 до 50 га; від 50 до 100 га; від 100 га до 1000 га. Аналіз цієї таблиці дозволяє визначити частоту появи ділянок з певним типом номенклатури виділеної страти на заданій площі.

Для типів земного покриття (страт), що містять достатньо велику кількість одиниць (ділянок), ця частота може бути у межах від 1/10 і 1/20 від загальної кількості одиниць. Для категорій номенклатури, які містять лише невелике число одиниць, перевірка може бути вичерпною і проводитися на всіх одиницях (ділянках) у страті (відповідному типі номенклатури). Категорії номенклатури, що містять велику кількість одиниць (ділянок), очевидно, можуть нашаровуватися і потребують валідації на певним чином побудованій сітці контрольних точок, яка забезпечувала б достовірність валідації.

Кожна одиниця у страті має номер з діапазону від 1 до n, а випадковий вибір стосовно цієї страти дає: $n \cdot \text{частота появи} = x$ контрольних одиниць.

Кожна з одиниць, обрана таким чином, повинна:

- розташовуватися у своєму географічному середовищі або автоматично бути накресленою на відповідній карті масштабу 1: 100000;
- бути роздрукованою у великих масштабах (1: 50000 або 1: 25000) на прозору плівку.

Для кожного з блоків, трасованих на прозору підкладку, накладається сітка (рис. 12 [13]). Крок сітки залежить від розміру блоку, і повинен забезпечувати, щонайменше, дев'ять точок у межах одиниці земного покриття.

Валідація реалізується за такими етапами:

Етап 1. Визначення земного покриття, що відповідає кожному перетину на сітці.

Така ідентифікація може бути отримана:

- з використанням аерофотозйомки (високого розрізнення) (якщо ці знімки не були використані для фотоінтерпретації області). У цьому випадку

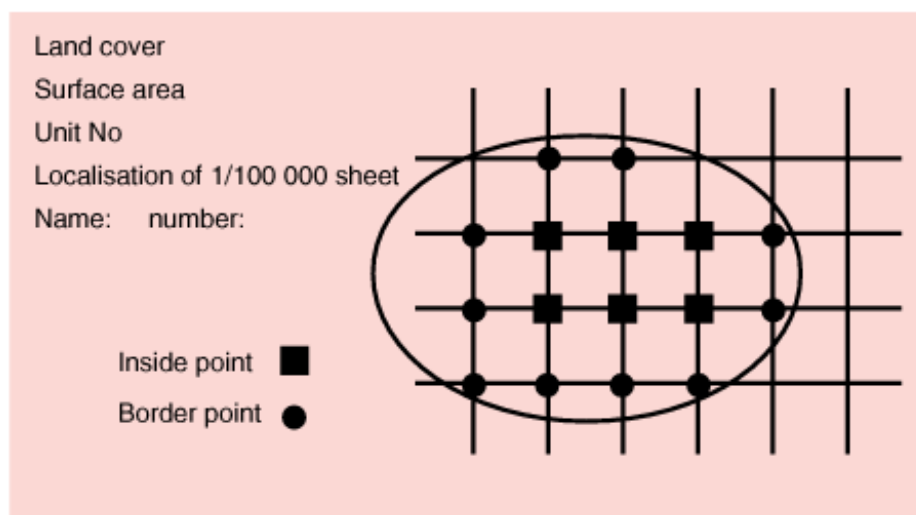


Рис. 12. Побудова валідаційної сітки у проєкті CORINE Land Cover

межі блоку наносяться на фотографіях вручну або за допомогою оптичної проекції на прозору плівку.

- у результаті польових досліджень, якщо аерофотознімки занадто старі або їх занадто складно використовувати для елемента розглянутої номенклатури.

Для такої ідентифікації земельного покриття використовується номенклатура класів, яка є якомога ближчою до супровідної номенклатури класів CORINE Land Cover, адаптованої для обстеження точок (різного діаметру залежно від обстежуваної площі).

Етап 2. Використання результатів.

По-перше, аналіз результатів для всіх точок ділянки покаже, чи дійсно правильно була класифікована одиниця (ділянка). Для складних категорій земельного покриття, правило прийняття рішення мусить враховувати неоднорідності ділянки.

По-друге, підвибірки можуть бути об'єднані з результатами, отриманими для точок на межі. Аналіз результатів для цих точок покаже, чи правильне розмежування блоку, чи ні.

Етап 3. Застосування статистики для всіх результатів, що стосуються до одиниці класифікації, яка показує:

- надійність бази даних — відсоток правильно класифікованих одиниць для кожної категорії земельного покриття.
- загальну надійність — зважений індекс, який дає процент загальної площі, що покривається ділянками кожної категорії номенклатури на всій розглядуваній території.

Слід підкреслити, що процедура валідації, розглянута вище, дозволяє отримати якісну і кількісну інформацію про склад блоків, які відповідають кожному типу номенклатури класів CORINE Land Cover. У цілому, надійність повинна бути не меншою 85%.

2.3. Бази даних та сервіси CORINE Land Cover і LUCAS

Всі дані CORINE Land Cover можна переглянути в інтерактивному режимі у формі карт земного покриття на порталі Агентства з захисту довкілля (Environmental Protection Agency, EPA) [56] у середовищі EPA Map Viewer.

На рис. 13 зображено web-інтерфейс portalу [56] EPA Map Viewer з переліком доступних тематичних шарів.

Цей портал забезпечує відображення таких баз даних CLC [18]:

- Corine Landcover 1990
- Corine Landcover 2000
- Corine Landcover 2006
- Corine Landcover 2012
- Landcover зміни 1990–2000
- Landcover зміни 2000–2006
- Landcover зміни 2006–2012

Національні набори даних вільно доступні для завантаження з геопорталу EPA [56]. На цьому ж геопорталі доступні опубліковані документи, включаючи легенду кольору набору даних у розділі завантажень.

CLC використовує мінімальну одиницю картографування (Minimum Mapping Unit, MMU) 25 га для площевих об'єктів і мінімальну ширину 100 м для лінійних об'єктів. Часові ряди даних доповнюються шарами змін, які фіксуються у земному покритті з MMU 5 га. Різні елементарні блоки картографування при цьому означають, що шар змін у земному покритті має більше розрізнення, ніж шар стану земного покриття. Через відмінності в одиницях MMU різниця між двома шарами стану покриття не буде тотожною відповідному шару змін (CLC-Changes). Якщо користувачу необхідні зміни між двома сусідніми обстеженнями, можна завжди використовувати

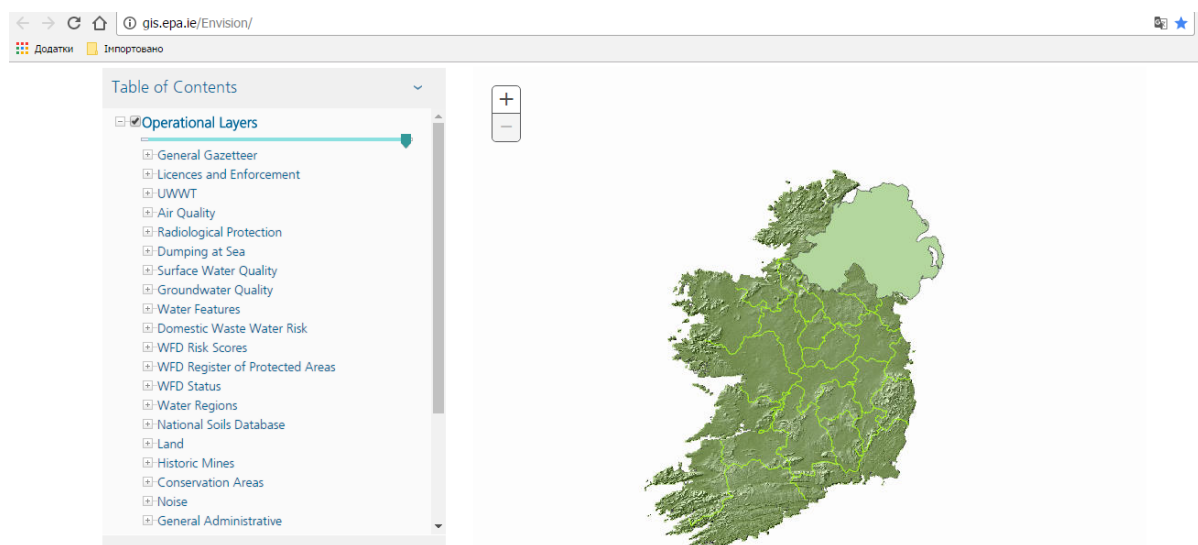


Рис. 13. Web-інтерфейс portalу EPA Map Viewer з переліком доступних тематичних шарів

ти шари CLC-Changes. Всі існуючі шари CLC та CLC-Changes, побудовані на основі відповідних баз даних CLC доступні через портал Copernicus Land Monitoring Services [10]. Рис. 14 відображає вікно інтерактивного web-переглядача з картографічним інтерфейсом для перегляду продуктів CLC-2012 і отримання відповідних сервісів [9].

Аналогічні сервіси стосовно земного покриття та землекористування надаються через портал Copernicus Land Monitoring Services стосовно даних in-situ рамкового обстеження LUCAS у країнах Європи. Рис. 15 відображає вікно інтерактивного web-переглядача з картографічним інтерфейсом для перегляду продуктів LUCAS 2001–2009 і отримання відповідних сервісів [11].

CORINE Land Cover має широкий спектр застосувань, які закладені в основу різних напрямків політики Європейського союзу у галузях моніторингу довкілля сільського господарства, транспорту, геопросторового планування та ін.

3. Валідація географічної бази даних CORINE Land Cover на основі методології LUCAS

Методологія LUCAS використовуються для валідації географічної бази даних CLC та оцінки її точності [29, 39, 45]. Валідація базується на використанні при перевірці достовірності даних CLC незалежних наземно засвідчених даних високого розрізнення LUCAS високої точності, які пов'язані з тим самим періодом збору даних і не використовувались при складанні цільової бази даних CLC. Валідація заснована на реінтерпретації даних супутникових зображень у точках вторинних одиниць вибірки LUCAS на основі фотографій поля у поєднанні з кодами LUCAS у цих точках [29, 39, 45]. Аналіз польових фотографій надає можливість розглянути різні мінімальні одиниці картографування відповідно до одиниць спостереження CLC (ділянки площею 25 га) і LUCAS (кола діаметром 3 м). При цьому

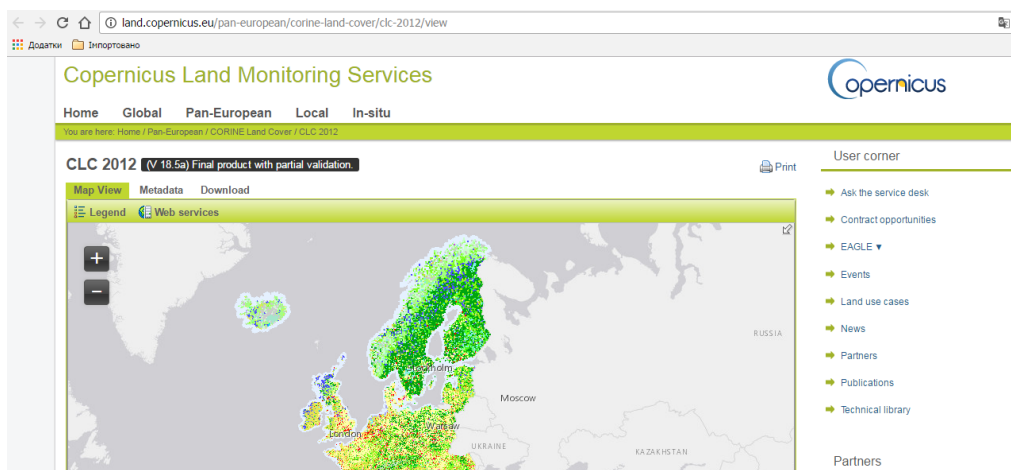


Рис. 14. Вікно інтерактивного web-переглядача з картографічним інтерфейсом для перегляду продуктів CLC-2012 і отримання відповідних сервісів

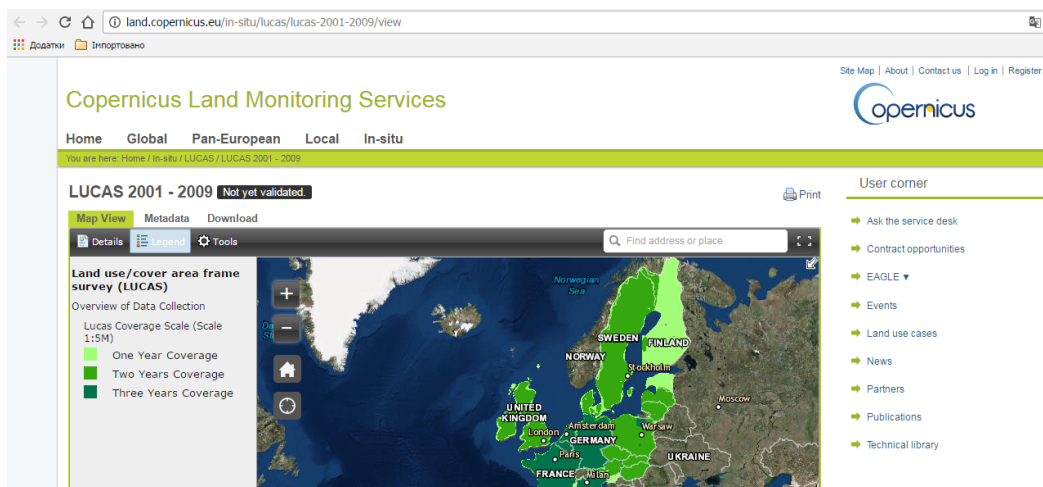


Рис. 15. Вікно інтерактивного web-переглядача з картографічним інтерфейсом для перегляду продуктів LUCAS 2001-2009 і отримання відповідних сервісів

дані CLC, LUCAS і супутникові зображення мають бути введені в одне геоінформаційне середовище. Така валідація полягає у можливій реалізації 2-х різних методик: 1) автоматичне порівняння CLC і LUCAS LC/LU кодів у великій кількості точок вторинних одиниць вибірки LUCAS; 2) візуальна реінтерпретація супутникових зображень на основі даних LUCAS LC/LU кодів та фотографій на підставі спеціальних правил у великій кількості точок LUCAS.

При вказаній вище валідації номенклатура CORINE скорочується для відповідності класам номенклатури LUCAS, наприклад (15 × 13), як це здійснено в [29]. З метою аналізу чистих пікселів, вилучаються з розгляду приміжові пікселі CLC, на які можуть накладатись контрольні точки обстеження LUCAS. Це робиться таким чином, щоб у поле зору такої контрольної точки LUCAS не потрапляли змішані пікселі зображення, отриманого у результаті фотоінтерпретації за методологією CORINE, як це проілюстровано на рис. 16 [29].

Будуються таблиці спряженості (contingency table [8]) класів CORINE-LUCAS, наприклад, розмірністю (15 × 13) — табл. 4 [29], заповнюються у великій кількості контрольних точок LUCAS, і обчислюється точність спряженості.

Здійснюється візуальна реінтерпретація в CORINE супутникових зображень на основі кодів та фотографій LUCAS на підставі спеціальних правил у великій кількості точок LUCAS.

Таким чином була встановлена загальна достовірність географічної бази даних CORINE Land Cover, яка складає, зокрема, для CLC 2000 87.0 ± 0.8 відсотків за методикою візуальної реінтерпретації супутникових зображень [39, 45].

4. Досвід картографування земного покриття в Україні

В Україні є значний доробок у напрямках оброблення багатоспектральних та гіперспектральних супутникових зображень, некерованої та керованої класифікації земного покриття та землекористування на основі рядів супутникових зображень з використанням методів машинного навчання, картографування та валідації результатів класифікації [1, 2, 20, 34, 46, 47, 57]. Тому українські дослідники долучаються до участі у європейських програмах і проєктах з класифікації і картографування земного покриття і землекористування із застосуванням розроблених автоматизованих технологій класифікації та картографування у системах супутникового моніторингу сільськогосподарських культур та іншого роду земного покриття в Україні.

4.1. Побудова карт земного покриття для всієї території України у межах проєкту SIGMA

У межах європейського проєкту SIGMA [52] в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України розроблено нейромережвий метод та інформаційну технологію для класифікації великих площ земної поверхні за супутниковими даними [49, 54].

Для мінімізації вимог до обчислювальних ресурсів при побудові карт земного покриття велика територія (зокрема, Україна) розбивається на області, що не перетинаються, та розв'язується задача класифікації для кожної з них окремо. У загальному випадку це можна здійснити двома способами:

CLC-LUCAS overlay : eliminating a buffer of border pixels.

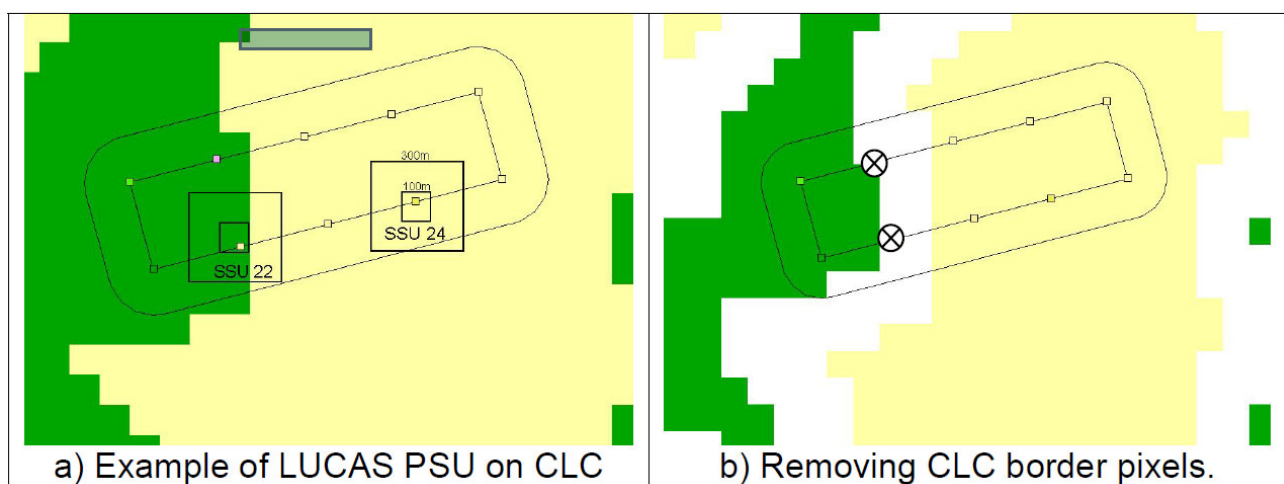


Рис. 16. Вилучення з розгляду приміжових пікселів CLC, щоб у поле зору конкретної контрольної точки LUCAS не потрапляли змішані пікселі зображення, отриманого у результаті фотоінтерпретації за методологією CORINE.

а) приклад потрапляння точок вторинної вибірки LUCAS на інший клас земного покриття, отриманий за фотоінтерпретацією супутникового зображення у межах проєкту CORINE; б) результат вилучення приміжових пікселів CLC

Таблиця 4.

Таблиця спряженості класів CORINE-LUCAS розмірністю (15 × 13)

Overlay LUCAS-CORINE, pure pixels, 13 × 15 classes														
CLC 15 classes	LUCAS 13 classes													
	Buildings	Other artificial	Arable	Vineyard	Fruits	Olive	Grass	Broadleaved forest & wood	Coniferous	Mixed forest	Shrub-heath	Bare land	Water	Total
Urban	289	197	25	0	12	3	171	52	9	14	23	13	8	816
Other artificial	31	48	4	0	0	1	55	13	4	6	2	11	4	179
Arable	140	425	8926	94	147	90	1596	340	86	82	217	106	119	12368
Vineyard	11	24	79	263	15	11	28	19	8	2	28	8	2	498
Fruits	4	8	41	6	160	7	19	16	1	2	15	0	3	282
Olive	7	20	70	25	16	416	33	18	2	12	38	9	7	673
Pasture	33	109	308	5	17	10	2195	174	72	33	293	225	77	3551
adcleaved forest	5	27	32	5	15	7	121	2248	262	401	253	37	15	3428
Coniferous	7	102	50	3	3	5	109	578	3547	925	221	47	210	5807
Mixed forest	4	48	42	1	5	4	117	508	904	746	95	19	108	2601
Woodland-shrub	7	45	64	7	19	33	340	461	425	205	1193	257	381	3437
Bare land	0	5	5	1	1	3	85	2	15	3	147	566	16	849
Water	3	8	3	0	1	0	21	15	13	7	16	19	1063	1169
Heterogeneous	85	177	1300	180	200	204	1383	501	95	79	379	60	57	4700
Burnt	0	0	2	0	0	0	1	1	8	1	7	0	0	20
otal	626	1243	10951	590	611	794	6274	4946	5451	2518	2927	1377	2070	40378

- розбиття на області однакового розміру з урахуванням покриття супутниковими даними;
- розбиття з урахуванням адміністративних областей.

Другий спосіб розбиття не забезпечує рівність площ елементарних областей, однак він має таку перевагу: дозволяє залучити незалежну інформацію (наприклад, офіційні статистичні дані, які доступні для адміністративних областей) для валідації отриманих карт. Слід зазначити, що саме такий спосіб був використаний при створенні карти класів поверхні Землі CORINE, коли кожна країна забезпечувала дослідження своєї власної території.

З використанням розробленого підходу на основі ансамблю багатопарових нейронних мереж перцептронного типу побудовано карти земного покриття для кожної сцени. При розв'язанні задачі побудови карт земного покриття для території України використано дані космічних апаратів (КА) Landsat-4, 5, 7 з просторовим розрізненням 30 м за три роки (1990, 2000, 2010 рр.) [34].

Для кожної з областей загальна точність класифікації становить не менше 88% (в середньому 97%) на незалежній тестовій вибірці. Мінімальна точність класифікації спостерігається в Дніпропетровській (1990) та Львівській (2010 р.) областях. Це пов'язано з недостатньою кількістю супутникових даних в 1990 р. та із зашумленістю (хмарним покритвом) більшості знімків, що покривають Львівську область в 2010 р.

Для оцінки точності класифікації використовувались два підходи: оцінка точності виробника (ТВ) і

користувача (ТК) на незалежній тестовій вибірці і порівняння площ класів земного покриття по областях з офіційною статистикою.

Загальна точність класифікації перевищує 97% (табл. 5). Точність для кожного окремого класу не менша 70%. Такі результати відповідають світовим показникам точності класифікації земної поверхні за супутниковими даними.

На основі результатів класифікації обчислено площі основних класів земної поверхні та порівняно їх з офіційною статистикою по областях України для кожного періоду часу (1990, 2000 і 2010 рр.) (рис. 17). Для більшості областей в Україні співвідношення між різницею за офіційними статистичними даними і результатами класифікації міститься в діапазоні від 5% до 15% для необроблюваних земель та земель сільськогосподарського призначення і для класу лісів — у межах 5%. Ще одним способом валідації є порівняння точності побудованої карти класифікації для України з глобальною картою рослинного покриття GlobeLand30-2010 (див. табл. 5) з просторовим розрізненням 30 м. Загальна точність результатів класифікації для України на 8% вища, ніж GlobeLand30-2010. Точність класу необроблюваних земель на отриманій карті вища на 30% (точність виробника) та 51% (точність користувача), ніж GlobeLand30-2010.

Семантичний аналіз отриманих результатів свідчить про істотне збільшення протягом 20 років незалежності України площі необроблюваних земель (grassland), особливо в північно-західній частині України [34, 49]. Розроблена технологія дозво-

ляє будувати карти земного покриття для території України з потрібною періодичністю в автоматизованому режимі [30]. Оскільки технологія включає попередню обробку, зокрема фільтрацію знімків [5], то вона може використовувати частково захмарені дані для супутникового моніторингу стихійних лих, зокрема посух та паводків [53].

Побудова карт земного покриття за областями

Досліджено ефективність злиття різночасових оптичних та радіолокаційних супутникових зображень для класифікації земного покриття та порівняно результати класифікації з використанням оптичних та радарних даних окремо [47]. Дослідження проводилось та території Київської області протягом 2015 р. на основі даних космічних систем Landsat-8 та Sentinel-1, які є у відкритому доступі.

У цілому навчальна і тестова вибірки містять 547 полігонів та включають основні класи земного покриття відповідно до стандартизованої номенклатури класів European Land Use and Cover Area frame

Survey (LUCAS) [44]. Загальна площа навчальних даних становить 18 966.6 га.

Використовуючи запропонований метод злиття різнорідних супутникових даних [34], вдалося підвищити як загальну точність класифікації земної поверхні, так і точність окремих класів. Загальна точність класифікації лише за оптичними даними — 85.2%, а додавання радарних даних дозволило збільшити її точність на 7.5%. Зокрема, додавання радіолокаційних супутникових зображень до оптичних даних значно дозволило покращити точність класифікації літніх культур (наприклад, сої — на 17.4% ТВ та 18.3% ТК; кукурудзи — на 9.7% ТВ та 6.8% ТК). Додавання радарних даних дає можливість здійснювати точнішу класифікацію за рахунок можливості отримання інформації щодо розвитку ходу рослинності протягом всього вегетаційного періоду, чого неможливо досягти за оптичними даними, оскільки частота зйомки лише раз на 16 днів і отримані дані можуть бути захмареними. Проте, перевагою оптичних даних є те, що вони дають можливість визначити точні контури полігонів, на відміну від радарних, які містять шум [23, 47].

Таблиця 5.

Загальна точність, точність виробника (ТВ) та точність користувача (ТК) для класифікації території України в 1990 році, 2000 та 2010 роки та GlobeLand30-2010

Рік	2010		2000		1990		GlobeLand30-2010	
Клас	ТВ, %	ТК, %	ТВ, %	ТК, %	ТВ, %	ТК, %	ТВ, %	ТК, %
Штучні землі	100	79.9	73.3	83.9	97.8	92.7	3.4	79.5
Землі с/г призначення	97.5	98.5	97.1	98.6	97.5	98.2	85.3	99.4
Ліс	97.2	97.4	98.8	98.4	96.7	98.5	95.9	89.9
Необроблювані землі	90.7	85.4	90.5	84.6	90	82.5	60.5	34.4
Відкритий ґрунт	93.6	96.9	96.2	89.7	94.5	93.4	57.1	0.4
Вода	99.5	99.8	99.5	99.9	99.5	99.7	99.9	96.6
Загальна точність, %	97.5		97.7		97.3		89.7	

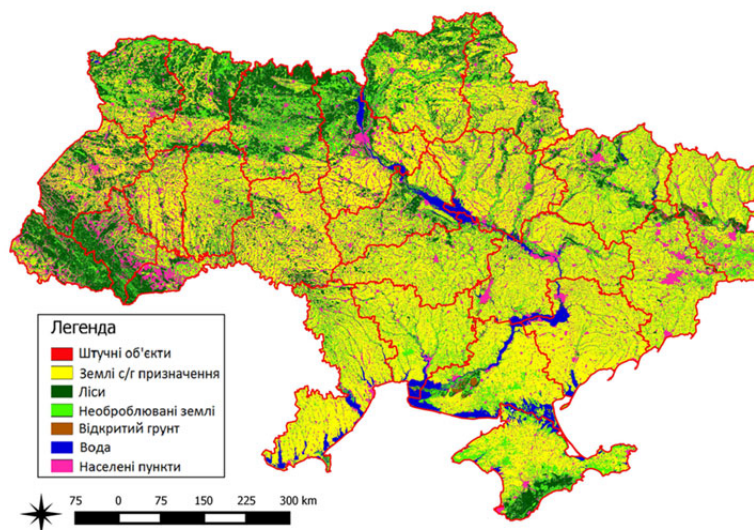


Рис. 17. Карта класифікації культур для всієї території України за супутниковими даними космічних систем Landsat 5/7 у 2010 р.

4.2. Автоматизована технологія класифікації сільськогосподарських культур у проекті Sen2-Agri

Україна є однією з трьох країн світу, для яких у 2016 р. проведено демонстрацію результатів класифікації сільськогосподарських культур проекту Sen2-Agri [52] у масштабі усієї країни. Метою проекту, який виконує Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, є валідація та оцінка якості продуктів та системи Sen2-Agri для України, а також оцінка їх придатності для розв'язання задач загальнодержавного на регіонального агромоніторингу.

Для навчання моделі та валідації результатів проведено наземні дослідження для формування валідаційної вибірки на території України вздовж доріг. Валідація проводилась для Київської, Миколаївської та Житомирської областей. Карта розподілу навчальної та валідаційної вибірок наведена на рис. 18. Червоним кольором позначені межі областей України, чорним позначені точки валідаційної вибірки, синім — точки навчальної вибірки. Загалом вибірка за 2016 рік складається з 7 689 полігонів, а саме: 5 526 для навчальної вибірки та 2 153 для тестової.

В Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України розгорнуто пілотну автоматизовану систему Sen2-Agri, розроблену Європейським космічним агентством у межах демонстрації використання космічної системи Sentinel-2 для потреб сільського господарства. Дана система призначена для автоматизованого виконання атмосферної корекції, побудови безхмарних композитів, динамічної маски посівів, оцінки посівних площ та моніторингу стану посівів за часовими рядами знімків Sentinel-2 та Landsat-8. На даний час система здійснює картографування ділянок сільськогосподарських культур та земного покриву іншого роду для всієї території України.

Висновки

1. Здійснено аналітичний огляд рамкового обстеження LUCAS ділянок земного покриву і землекористування у країнах ЄС за наземними спостереженнями. Розглянуто схему та правила збору даних, класифікацію та номенклатуру класів, типи та бази даних, галузі та приклади застосування.

Можна відзначити високу достовірність даних LUCAS, логічно обґрунтовану номенклатуру класів, методичну відпрацьованість стадій реалізації, надійну основу даних LUCAS для валідації інших методологій обстеження земного покриву і землекористування, широкий спектр застосувань європейськими урядовими організаціями.

2. Проаналізовано методологію CORINE, спрямовану на формування і періодичне оновлення бази даних CLC земного покриву у Європі і комп'ютерне картографування цих даних на основі фотоінтерпретації радіометрично і геометрично скоригованих орторектифікованих супутникових зображень, отриманих у межах супутникових проектів спостереження Землі.

Розглянуто масштаб і мінімальну одиницю картографування, чотирирівневу змішану номенклатуру класів, методи формування та оброблення супутникових зображень, їх комп'ютерну автоматизовану фотоінтерпретацію на основі інтераційного оконтурювання та ідентифікації класів, векторизацію результатів фотоінтерпретації, формування бази даних CLC на основі топологічно структурованих векторних файлів у середовищі ARC/INFO, валідацію CLC на основі додаткових аерофото і супутникових зображень та наземних обстежень.

Слід вказати на змішаний характер номенклатури CLC, громіздкість процедур комп'ютерної автоматизованої фотоінтерпретації, жорстке використання дорогої ліцензійної ПІС ARC/INFO, великий період оновлення CLC бази даних.

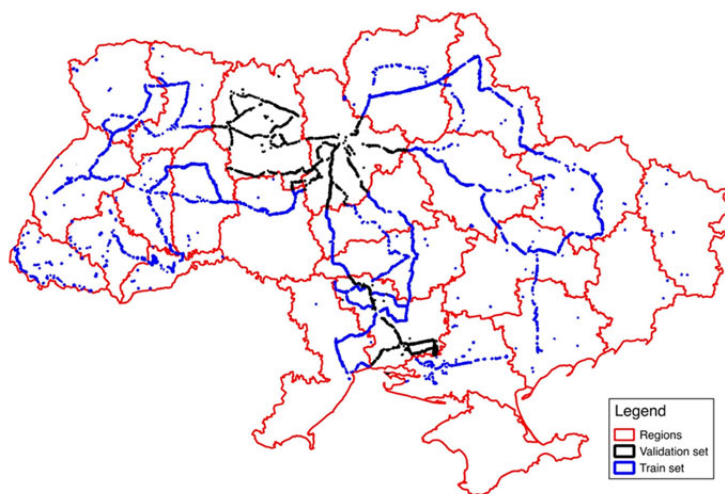


Рис. 18. Вибірки на території України за 2016 р.

3. Розглянуто валідацію бази даних CLC з використанням незалежних in-situ даних високого розрізнення та високої точності LUCAS, які пов'язані з тим самим періодом збору даних, що й при формуванні бази даних CORINE.

Дані CLC і LUCAS введено у спільне геоінформаційне середовище та накладено у різних векторних шарах; побудовано таблиці спряженості класів CORINE-LUCAS та здійснена візуальна реінтерпретація в CORINE супутникових зображень на основі кодів та фотографій LUCAS на підставі спеціальних правил.

4. В Україні є значний доробок у напрямках оброблення багатоспектральних та гіперспектральних супутникових зображень, некерованої та керованої класифікації земного покриву та землекористування на основі рядів супутникових зображень з використанням методів машинного навчання, картографування та валідації результатів класифікації. Тому українські дослідники долучаються до участі у європейських програмах і проєктах з класифікації і картографування земного покриву і землекористування із застосуванням розроблених автоматизованих технологій класифікації та картографування у системах супутникового моніторингу сільськогосподарських культур та іншого роду земного покриву в Україні.

У межах європейського проєкту SIGMA в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України розроблено нейромережний метод та автоматизовану інформаційну технологію для класифікації та картографування земного покриву великих площ земної поверхні за супутниковими даними. Розроблена автоматизована інформаційна технологія картографування застосована для побудови ретроспективних карт земного покриву для всієї території України та окремих областей за 1990, 2000 і 2010 рр. з забезпеченням середньої точності класифікації 95%, отриманої за незалежною тестовою вибіркою.

У межах європейського проєкту Sen2-Agri в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України розгорнуто пілотну автоматизовану систему Sen2-Agri, розроблену Європейським космічним агентством у межах демонстрації використання космічної системи Sentinel-2 для потреб сільськогосподарства. У розгорнутій пілотній автоматизованій системі Sen2-Agri реалізується розроблена в ІКД НАН України та ДКА України автоматизована інформаційна технологія картографування земного покриву на основі нейромережних методів та моделей класифікації і методів злиття різнорідних супутникових даних.

Література

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. Зелик Я. І. Досвід використання європейських проєктів CORINE і LUCAS для моніторингу та валідації земного покриву і землекористування на основі супутникових та наземних спостережень / Я. І. Зелик, Н. М. Куссуль, А. Ю. Шелестов // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки. Матеріали доповідей п'ятої Міжнародної конференції "GEO-UA" (Україна, Київ, 10–14 жовтня 2016 р.). — Київ, ІКД НАН України та ДКА України, 2016. — С. 24–27.
3. 2003. LUCAS Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey. Technical Document No. 1: Sampling plan. (version 2.4) / J. Avikainen, J. Delincé, W. Crow, W. Kayadjanian, M. Bettio, A. Mariano. EUROSTAT/LAND/LUCAS1.
4. 2003. LUCAS Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey. Technical Document No. 2: The Nomenclature. (version 1.5) / C. Duhamel, G. Eiden, D. Aifantopoulou, W. Crow. EUROSTAT/LAND/LUCAS2.
5. Bakan G. M. Fuzzy ellipsoidal filtering algorithm of static object state / G. M. Bakan, N. N. Kussul // Problemy Upravleniya I Informatiki (Avtomatika). — 1996. — № 5. — Р. 77–92.
6. CLC2006 technical guidelines. Technical report No 17/2007 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_17 (30.12.2016). — Назва з екрану.
7. Climate Action [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://ec.europa.eu/clima/about-us/mission/index_en.htm (30.12.2016). — Назва з екрану.
8. Contingency table // Wikipedia [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Contingency_table (30.12.2016). — Назва з екрану.
9. Copernicus Land Monitoring Services. CLC 2012 (V 18.5.1) Final product with partial validation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/view> (30.12.2016) — Назва з екрану.
10. Copernicus Land Monitoring Services. CORINE Land Cover. Web source: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (30.12.2016). — Назва з екрану.
11. Copernicus Land Monitoring Services. LUCAS 2001-2009 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://land.copernicus.eu/in-situ/lucas/lucas-2001-2009/view> (30.12.2016). — Назва з екрану.
12. Copernicus. Europe's Eyes of Earth. Data Access. Web source: <http://www.copernicus.eu/main/data-access> (30.12.2016). — Назва з екрану.
13. CORINE Land Cover (land_cover.pdf) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> (30.12.2016). — Назва з екрану.
14. Corine Land Cover [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> (30.12.2016). — Назва з екрану.
15. CORINE Land Cover [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.epa.ie/soilandbiodiversity/soils/land/corine> (30.12.2016). — Назва з екрану.
16. CORINE Land Cover Nomenclature [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.geoinfo.amu.edu.pl/geoinf/m/CORINE.doc (30.12.2016). — Назва з екрану.

17. CORINE Land Cover Technical Guide - Addendum 2000. Technical report No 40/2000 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.eea.europa.eu/publications/tech40add> (30.12.2016). — Назва з екрану.
18. CORINE Land Cover. Dataset Access [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.epa.ie/soiland-biodiversity/soils/land/corine/datasets> (30.12.2016). — Назва з екрану.
19. CORINE Reports. Related content [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0> (30.12.2016). — Назва з екрану.
20. Creation of a Calibration Test Site of Subsatellite Support / Ya. I. Zyelyk, V. A. Yatsenko, V. E. Nabivach, O. V. Semeniv, L. V. Pidgorodetska // Journal of Automation and Information Sciences. — Begell House, 2013. — V. 45. — I. 12. — P. 48–65.
21. Crop area estimation in Ukraine using satellite data within the MARS project 2012 / N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, O. Kravchenko, J. F. Gallego, O. Kussul // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). — 2012. — P. 3756–3759. — DOI:10.1109/IGARSS.2012.6350500.
22. Directorate-General for Agriculture and Rural Development [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ec.europa.eu/dgs/agriculture> (30.12.2016). — Назва з екрану.
23. Efficiency Assessment of Multitemporal C-Band Radarsat-2 Intensity and Landsat-8 Surface Reflectance Satellite Imagery for Crop Classification in Ukraine / S. Skakun, N. Kussul, A. Y. Shelestov, M. Lavreniuk and O. Kussul // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — Aug. 2016. — Vol. 9, No. 8. — P. 3712–3719. — DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2454297.
24. Enterprise and Industry [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://ec.europa.eu/enterprise/index_en.htm (30.12.2016). — Назва з екрану.
25. Environment Directorate-General [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ec.europa.eu/dgs/environment> (30.12.2016). — Назва з екрану.
26. European Environment Agency [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.eea.europa.eu> (30.12.2016). — Назва з екрану.
27. Eurostat Statistics Explained. Glossary [Електронний ресурс]. (Search: Land cover; Land use; Landscape et al.). Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/glossary> (30.12.2016). — Назва з екрану.
28. Eurostat Statistics Explained. Glossary: Canopy cover [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Canopy_cover (30.12.2016). — Назва з екрану.
29. J. Gallego. Fine scale profile of CORINE Land Cover classes with LUCAS data. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability JRC, I-21023 Ispra (Varese), Italy [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://agrienv.jrc.ec.europa.eu/publications/pdfs/LUCAS_CORINE.pdf (30.12.2016). — Назва з екрану.
30. Kussul N. Technologies for Satellite Data Processing and Management Within International Disaster Monitoring Projects / N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun // In: Grid and Cloud Database Management Grid — Fiore, S.; Aloisio, G. (Eds.). — 2011, Springer — P. 279–306.
31. Land Cover/Use Statistics (LUCAS). Methodology. - Web source: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/methodology> (30.12.2016). — Назва з екрану.
32. Land Cover/Use Statistics (LUCAS). Use-Cases [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/publications/use-cases> (30.12.2016). — Назва з екрану.
33. Land Cover/Use Statistics. Database [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/database> (30.12.2016). — Назва з екрану.
34. Large-Scale Classification of Land Cover Using Retrospective Satellite Data / M. S. Lavreniuk, S. V. Skakun, A. Ju. Shelestov, B. Ya. Yalimov, S. L. Yanchevskii, D. Ju. Yaschuk and A. M. Kosteckiy // Cybernetics and Systems Analysis. — 2016. — Vol 52, No 1. — P. 127–138. — DOI: 10.1007/s10559-016-9807-4.
35. LUCAS — Land use and Land cover survey [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey (30.12.2016). — Назва з екрану.
36. LUCAS 2015 (Land Use / Cover Area Frame Survey). Technical reference document C3. Classification (Land Use & Land Cover). — Eurostat Technical Documents. — 2015. — 93 p.
37. LUCAS 2016 (Land Use / Cover Area Frame Survey). Technical reference document. Lucas grid record descriptor. — Eurostat Technical Documents. — 2016. — 8 p.
38. LUCAS 2018 (Land Use / Cover Area Frame Survey). Technical reference document S1. Stratification Guidelines. — Eurostat Technical Documents. — 2015. — 35 p.
39. LUCAS and CORINE Land Cover / George Büttner and Beatrice Eiselt. 16/05/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://ec.europa.eu/eurostat/documents/205002/274769/LUCAS_UseCase-CLC.pdf (30.12.2016). — Назва з екрану.
40. LUCAS Data [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data> (30.12.2016). — Назва з екрану.
41. LUCAS Grid [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/lucas-grid> (30.12.2016). — Назва з екрану.
42. LUCAS Interactive Viewer. Web source <http://ec.europa.eu/eurostat/statistical-atlas/gis/viewer> (30.12.2016). — Назва з екрану.
43. LUCAS Primary Data [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/primary-data/2012> (30.12.2016). — Назва з екрану.
44. LUCAS, 2009. Land Use and Cover Area frame Survey [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://ec.europa.eu/eurostat/documents/205002/208938/LUCAS2009_C1-Instructions_Revised20130925.pdf (30.12.2016). — Назва з екрану.
45. Maucha G. Validation of the European CORINE Land Cover 2000 database / G. Maucha, G. Büttner. Global Develop-

- pments in Environmental Earth Observation from Space, Proceedings of 25th EARSeL Symposium, Porto, Portugal, 6–9 June 2005 pp. 449–457, Millpress, 2006.
46. Method of hyperspectral satellite image classification under contaminated training samples based on Dempster-Shafer's paradigm / M. A. Popov, S. I. Alpert, V. N. Podorvan, M.V. Topolnytskyi, S. I. Mieshkov // Central European Researchers Journal. — 2015. — Vol. 1. — No.1. — P. 86–97.
 47. Parcel based classification for agricultural mapping and monitoring using multi-temporal satellite image sequences / N. Kussul, G. Lemoine, J. Gallego, S. Skakun, M. Lavreniuk // The International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International. — 2015. — P. 165–168. — DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7325725.
 48. Parcel-based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data / N. Kussul, G. Lemoine, J. Gallego, S. Skakun, M. Lavreniuk, A.Y. Shelestov // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2016. — Vol. 9, No. 6. — P. 2500 – 2508. — DOI: 10.1109/JSTARS.2016.2560141.
 49. Regional Retrospective High Resolution Land Cover For Ukraine: Methodology And Results / M. Lavreniuk, N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, B. Yailymov // International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015 (IGARSS 2015), № 15599383. — P. 3965–3968. DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326693.
 50. Regional scale crop mapping using multi-temporal satellite imagery / N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, M. Lavreniuk, B. Yailymov, O. Kussul // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences. — 2015. — P. 45–52. — DOI:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-45-2015.
 51. Sentinel-2 for Agriculture [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.esa-sen2agri.org> (30.12.2016). — Назва з екрану.
 52. Stimulating Innovation for Global Monitoring of Agriculture. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.geoglam-sigma.info> (30.12.2016). — Назва з екрану.
 53. The Common Agricultural Policy after 2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ec.europa.eu/agriculture/cap-post-2013> (30.12.2016). — Назва з екрану.
 54. The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project / N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, O. Kussul // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). — 2014. — P. 1497–1500.
 55. Water resource quality monitoring using heterogeneous data and high-performance computations / A. N. Kravchenko, N. N. Kussul, E. A. Lupian, V. P. Savorsky, L. Hluchy / Cybernetics and Systems Analysis. — 2008. — Vol. 44, No. 4. — P. 616–624.
 56. Welcome to EPA Geoportal Site [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://gis.epa.ie> (30.12.2016). — Назва з екрану.
 57. Zyelyk Ya.I. Information-technological support of post launch calibration of optoelectronic monitoring sensors of "Sich" space system // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2013, v. 5, no. (9(65)). — P. 27–38.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЕВРОПЕЙСКИХ ПРОЕКТОВ LUCAS И CORINE ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ВАЛИДАЦИИ ЗЕМНОГО ПОКРОВА И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ОПЫТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЗЕМНОГО ПОКРОВА В УКРАИНЕ

Я. И. Зелик, Н. Н. Куссуль, А. Ю. Шелестов, Б. Я. Яйлымов

Выполнен аналитический обзор европейских проектов CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover (CLC) и LUCAS (Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey) и их использования для мониторинга и валидации земного покрова и землепользования. Рассмотрен опыт картографирования земного покрова в Украине на основе разработанных в Институте космических исследований НАН Украины и ГКА Украины нейросетевых методов классификации, методов слияния разнородных спутниковых данных и реализации соответствующих автоматизированных информационных технологий в рамках европейских проектов SIGMA и Sen2-Agri.

Ключевые слова: CORINE, LUCAS, Land Cover, Land Use, in-situ данные, земной покров, землепользования, наземные наблюдения, спутниковые изображения, картографирование, мониторинг, валидация, нейросетевые методы классификации, методы слияния разнородных спутниковых данных

ANALYTICAL REVIEW OF EUROPEAN PROJECTS LUCAS AND CORINE FOR MONITORING AND VALIDATION OF LAND COVER AND LAND-USE ON THE BASIS OF SATELLITE AND GROUND OBSERVATIONS AND EXPERIENCE OF LAND COVER MAPPING IN UKRAINE

Ya. I. Zyelyk, N. M. Kussul, A. Yu. Shelestov, B. Ya. Yailymov

Analytical review of the European project CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover (CLC) and LUCAS (Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey) and their use for the monitoring and validation of land cover and land use is fulfilled. The experience of land cover mapping in Ukraine on the basis of developed in the Space Research Institute of NAS of Ukraine and SSA of Ukraine neural network classification methods, heterogeneous satellite data fusion methods and implementation of appropriate automated information technologies within the SIGMA and Sen2-Agri European projects are considered.

Keywords: CORINE, LUCAS, Land Cover, Land Use, in-situ data, land cover, ground-based observations, satellite imagery, mapping, monitoring, validation, neural network classification methods, satellite data fusion methods