



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

12' 2017



СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

NOVEL REMOTE SENSING METHODS
FOR MINERALS PROSPECTING



Починаючи з 12-го номеру, в журналі буде публікуватись (по розділах) монографія “Сучасні методи дистанційного пошуку корисних копалин”, створена колективом авторів Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України під редакцією В. І. Лялька та М. О. Попова (Київ: ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, 2017. — 1 електронний опт. диск CD-ROM).

У монографії наведено і детально описано теоретико-методичні основи інформаційного інтегрування даних багатоспектрального аерокосмічного знімання, польової спектрометрії і геолого-геофізичних даних при вирішенні завдань дистанційного пошуку покладів

корисних копалин на суходолі і морському шельфі, а також нові ефективні методи дистанційного пошуку покладів вуглеводнів та виявлення родовищ рудної і нерудної сировини.

Більшість з розроблених методів дистанційного пошуку покладів вуглеводнів пройшла апробацію на території Дніпровсько-Донецької западини і в акваторії Чорного моря. Розроблені методи було застосовано також при прогнозуванні покладів поліметалічних руд, гіпсу та гіпсоангідритів в різних регіонах України.

Розроблені методи дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі і шельфі можуть слугувати науковою основою при обґрунтуванні заходів раціонального природокористування та прийнятті інформаційних і управлінських рішень.

Автори сподіваються, що матеріали монографії будуть корисними для вчених і спеціалістів, які працюють над вирішенням різноманітних природоресурсних завдань і впровадженням нових перспективних геологічних і геоінформаційних технологій.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут геологічних наук
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

№ 12 • 2017

Засновник:	Електронний
Національна Академія наук України	науковий фаховий журнал.
Науковий центр аерокосмічних	Заснований у березні 2014 року.
досліджень Землі	Виходить щоквартально.
Інституту геологічних наук	Домашня сторінка: www.ujrs.org.ua
НАН України	E-mail: o.kudriashov@ujrs.org.ua

Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



Рекомендовано до видання
Вченою радою Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України та рішенням Відділення наук про Землю
Національної Академії наук України

Наказом МОН України від 7 жовтня 2015 року №1021 журнал включено до
Переліку електронних наукових фахових видань України у галузях технічних і
геологічних наук

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

В. І. ЛЯЛЬКО	головний редактор доктор геолого-мінералогічних наук, академік НАН України
М. О. ПОПОВ	заступник головного редактора доктор технічних наук
О. Т. АЗІМОВ	доктор геологічних наук
С. О. БАРТАЛЬОВ	доктор технічних наук (Росія, Москва)
В. Г. ВЕРХОВЦЕВ	доктор геологічних наук
Л. Д. ГРЕКОВ	доктор технічних наук
М. Д. ГРОДЗИНСЬКИЙ	доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України
С. М. ЄСИПОВИЧ	доктор геологічних наук
Л. В. КАТКОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук (Білорусь, Мінськ)
С. С. КОХАН	доктор технічних наук
Н. М. КУССУЛЬ	доктор технічних наук
СТ. ЛЕВІНСЬКИЙ	доктор технічних наук (Польща, Варшава)
В. В. ЛУКІН	доктор технічних наук
М. М. ПОНОМАРЕНКО	доктор технічних наук
С. А. СТАНКЕВИЧ	доктор технічних наук
О. І. САХАЦЬКИЙ	доктор геологічних наук
А. А. ТРОНІН	доктор геолого-мінералогічних наук (Росія, Санкт-Петербург)
О. Д. ФЕДОРОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України
В. Г. ЯКИМЧУК	доктор технічних наук

Секретар редакції О. В. Седлерова / тел. + 380 44 486 84 21 / sedlerovaolga@gmail.com

Верстка, коректура О. І. Кудряшов / тел. + 380 44 482 03 72 / o.kudriashov@ujrs.org.ua

Редактор сайту А. Ю. Порушкевич / a.porushkevych@ujrs.org.ua

Матеріали друкуються в авторській редакції.
Редакція залишає за собою право виправлення статей. Зроблені зміни узгоджуються з автором.
Якість ілюстрацій відповідає якості наданих авторами вихідних матеріалів.

Адреса редакції: Україна, 01054, м. Київ, вул. Олеса Гончара, 55-Б
тел. +380 44 486 94 05, 482 01 66; факс: +380 44 482 01 06, 486 14 30 / www.ujrs.org.ua

ЗМІСТ

Ювілеї

ДО 25-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ ЗАСНУВАННЯ ДЕРЖАВНОЇ УСТАНОВИ “НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ”

В. І. Лялько, М. О. Попов, О. Д. Федоровський, В. Є. Філіпович, С. М. Єсіпович, О. В. Седлєрова 4

Використання інформації дистанційного дослідження Землі

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЄВРОПЕЙСЬКИХ ПРОЕКТІВ LUCAS I 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. Кусуль, А. Ю. Шелестов, Б. Я. Яйлимов 10

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ ПОСІВІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ, РОЗРАХОВАНИХ НА ОСНОВІ ДИСТАНЦІЙНИХ ДАНИХ ЗІ СУПУТНИКА SENTINEL-2 ТА СПЕКТРОРАДІОМЕТРА FIELDSPEC

В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак, О. М. Сибірцева, С. С. Дугін, М. В. Ваколюк 37

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ З’ЯСУВАННЯ ТЕРМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

В. І. Вишневський, С. А. Шевчук 47

БУДОВА ОРІХОВО-ПАВЛОГРАДСЬКОЇ ШОВНОЇ ЗОНИ ЗА ПАЛЕОГЕОГРАФІЧНИМИ ТА ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИМИ ДАНИМИ

С. М. Єсіпович, З. М. Товстюк, О. П. Головашук, О. А. Рибак, О. П. Скопенко, Г. М. Ромашко, І. В. Лазаренко 53

СТАН МОНІТОРИНГУ ФАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ В ПРОВІДНИХ КРАЇНАХ НА ОСНОВІ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ

А. Ю. Шелестов, Б. Я. Яйлимов 59

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ ВОД КАР’ЄРНОГО ВОДОВІДЛИВУ ПРИ ПЛАНОВАНИЙ РОЗРОБЦІ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ

О. Ю. Тищенко, Ю. Є. Тищенко 67

Правила та рекомендації для авторів (ua, ru) 72

Анонси. Розділи монографії

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

РОЗДІЛ 1. ДИСТАНЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ГЕОЛОГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ: РЕТРОСПЕКТИВА І СУЧАСНІСТЬ (С. 1–19) 76

УДК (55:528.8):061.6(477)

До 25-річчя від дня заснування Державної установи “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”

В. І. Лялько *, М. О. Попов, О. Д. Федоровський, В. Є. Філіпович, С. М. Єсіпович, О. В. Седлерова

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна

© В. І. Лялько, М. О. Попов, О. Д. Федоровський, В. Є. Філіпович, С. М. Єсіпович, О. В. Седлерова. 2017

ДУ “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України” (ЦАКДЗ, або Центр) як самостійну юридичну установу було створено в 1992 р. (Постанова Президії АН України від 20.05.1992 р., № 150) на базі відділу тепломасопереносу в земній корі Інституту геологічних наук НАН України та Київського науково-дослідного інституту космоаерометодів колишнього Міністерства нафтової і газової промисловості СРСР та АН СРСР.

Упродовж майже 25 років директором ЦАКДЗ незмінно був один з його засновників, академік НАН України, доктор геолого-мінералогічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України Вадим Іванович Лялько. Сьогодні В. І. Лялько є Почесним директором Центру.

У грудні 2016 р. директором Центру обрано доктора технічних наук, професора, заслуженого діяча науки і техніки М. О. Попова. Вчений секретар — кандидат геологічних наук О. В. Седлерова.

Організаційно ЦАКДЗ складається з п'яти відділів:

1. Енергомасообміну у геосистемах (завідувач — академік НАН України В. І. Лялько).
2. Геоінформаційних технологій у дистанційному зондуванні Землі (ДЗЗ) (завідувач — доктор технічних наук М. О. Попов).
3. Аерокосмічних досліджень у геології (завідувач — доктор геологічних наук С. М. Єсіпович).
4. Системного аналізу (завідувач — член-кореспондент НАН України О. Д. Федоровський).
5. Аерокосмічних досліджень в геоєкології (завідувач — кандидат геологічних наук В. Є. Філіпович).

У складі Центру працює понад 80 співробітників, з них дві третини — науковці, серед яких — академік НАН України, член-кореспондент НАН України, вісім докторів наук, 22 кандидати (геологічних, географічних, фізико-математичних, технічних і біологічних наук), навчається шість аспірантів.

У Центрі розвивається наукова школа “Енергомасообміну в геосистемах”. Досліджуються процеси енергомасообміну в геосистемах та їх вплив на фізико-хімічні та біологічні механізми, які відпові-

дають за формування спектрального відгуку природних об'єктів. Дослідження мають фундаментальний та водночас прикладний характер. Сформовані і плідно працюють наукові групи системного аналізу і геоінформаційних технологій в ДЗЗ.

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

Основні наукові напрями та завдання Центру такі:

- удосконалення теоретико-методичних основ аерокосмічного моніторингу довкілля, створення і дослідження фізико-математичних моделей генерування, відбиття та розсіювання електромагнітного випромінювання земними утвореннями (рослинність, ґрунт, вода) та антропогенними об'єктами;
- розроблення методів і технологій аерокосмічного моніторингу екологічного стану природного середовища, дистанційного вирішення природо-ресурсних завдань, а також завдань подвійного призначення, спостереження за глобальними змінами у геосфері (пошуки корисних копалин, кліматичні зміни, стан та зміни лісів, опустелювання тощо);
- розроблення методів і технологій аерокосмічного агромоніторингу з оцінюванням стану сільськогосподарських культур та прогнозуванням урожайності, дистанційного спостереження за поновлюваними природними ресурсами (ґрунти, ліси, водойми);
- обґрунтування вимог до технічних засобів ДЗЗ, розроблення методів калібрування бортових сенсорів і валідації супутникових даних і технологій;
- створення вітчизняної нормативно-понятійної бази ДЗЗ з гармонізацією її до відповідних міжнародних норм і стандартів;
- міжнародна кооперація досліджень з ДЗЗ з метою залучення передового зарубіжного досвіду, апаратури і технологій для потреб економіки та охорони навколишнього середовища в Україні.

* E-mail: casre@casre.kiev.ua

Основні завдання наукових досліджень Центру:

1. Оцінювання та менеджмент природних ресурсів:

- деталізація геологічної структури територій (вивчення активних екзогенних процесів, виявлення та локалізація активних розломних зон, похованих плікативних структур тощо);
- оцінювання територій і шельфової зони з метою пошуку родовищ нафти та газу;
- оцінювання екологічного стану та космічний моніторинг територій видобування корисних копалин (бурштину, ільменіту, вуглеводнів та ін.);
- визначення вологості ґрунтів та рівня ґрунтових вод, пошук підземних водних резервуарів;
- оцінювання стану та картування лісових угідь.
- розробка дистанційної основи та складання на її підґрунті тематичних карт за Державною програмою “ГДП-200”.

2. Екологічний моніторинг навколишнього середовища:

- оцінювання та прогнозування кліматичних змін і парникового ефекту на підставі даних (ДЗЗ) та полігонних досліджень;
- оцінювання морських акваторій і внутрішніх водоймищ — швидке виявлення розливів нафти і нафтопродуктів на водній поверхні, аналіз еколого-санітарного стану та якості води у водоймищах, виявлення промислових забруднень, контроль розподілу суспендованих речовин, зелених водоростей та ін.;
- оперативний моніторинг паводків, підтоплень, заболочування, пожеж на торфовищах, лісових пожеж та інших природних катаклізмів;
- оцінювання територій, забруднених важкими металами, радіонуклідами, пестицидами та іншими токсичними речовинами;
- вивчення міських агломерацій — динаміка розвитку і забудови міста, антропогенний вплив промисловості на довкілля, оцінювання розвитку “теплових островів” та їх вплив на якість життя.

3. Застосування даних ДЗЗ у сільському господарстві:

- інвентаризація посівів;
- оцінювання стану сільськогосподарських угідь — фенологічні спостереження, забезпеченість посівів добривом, вологою, визначення біомаси та продуктивності;
- прогнозування врожаю;
- аналіз параметрів стану ґрунтів.

4. Обґрунтування складу і характеристик бортових засобів ДЗЗ, оцінювання ефективності ДЗЗ технологій на основі методів системного аналізу:

- обґрунтування складу бортового навантаження супутників ДЗЗ;
- оцінювання ефективності бортових видових технічних засобів ДЗЗ;

- розроблення методів калібрування бортових сенсорів і валідації супутникових даних і технологій;
- системний аналіз ефективності функціонування системи ДЗЗ (з урахуванням космічних апаратів і наземної інфраструктури).

5. Розроблення алгоритмів і програмного забезпечення для створення технологій подвійного використання.

У Центрі розроблені нові ефективні космічні методи й технології для вирішення ряду актуальних для України завдань раціонального природокористування, зокрема для:

- пошуків нафтогазових покладів на суходолі та шельфі, що дозволило майже вдвічі підвищити результативність відповідних робіт. Цю технологію практично апробовано не лише в Україні, але й у Російській Федерації, Туркменистані та Об'єднаних Арабських Еміратах;
- оцінювання стану та врожайності агрокультур;
- аналізу екологічного стану територій і акваторій у режимі моніторингу;
- космічного моніторингу тепловтрат на урбанізованих територіях;
- космічного моніторингу (аудиту) балансу парникових газів.

Відділ енергомасообміну в геосистемах. Завідувач відділом — академік НАН України В. І. Лялько. До 1992 р. відділ був підрозділом Інституту геологічних наук НАН України і мав назву “Відділ тепломасопереносу в земній корі”. Його було створено з метою проведення науково-дослідних робіт з вивчення енергомасообміну в геосистемах на основі комп'ютерного моделювання, сучасних супутникових технологій; формування і реалізації єдиної наукової та науково-технічної політики Центру, вирішення актуальних наукових проблем, підвищення його наукового потенціалу. У відділі виконано значний обсяг теоретико-методичних і практичних досліджень: створено моделі процесів формування ресурсів та гідрогеологічних умов охорони підземних вод; розроблено методи розрахунку тепло- і масопереносу в земній корі; обґрунтовано доцільність захоронення токсичних промислових стоків у надра; розроблено критерії геотермічних пошуків корисних копалин, у тому числі підземних вод та вуглеводневої сировини; узагальнено теоретико-методичні засади застосування матеріалів космічного знімання для вирішення актуальних завдань раціонального природокористування, наприклад: пошуків нафтогазових покладів на шельфі, оцінювання фітосанітарного стану та пожежонебезпечності лісів, прогнозування стану й урожайності зернових культур та екологічної ситуації в екосистемах. Розроблено та застосовано нові ефективні методи й технології синергетичної інтерпретації матеріалів сучасних аерокосмічних гіперспектральних знімків. Уперше на основі матеріалів багатоспектраль-

них космічних знімачь експериментально визначено основні балансові складники формування парникового ефекту в межах території України з метою виявлення кількісних показників для обґрунтування виділених нашої державі квот парникових газів відповідно до Кіотського протоколу. Передбачено довготермінові сценарії кліматичних та екологічних змін на регіональному і локальному рівнях. Визначено стратегії адаптації, зокрема у зв'язку з прогнозованою ескалацією природних катастроф.

Грунтуючись на вказаних теоретико-методичних дослідженнях, відділ впровадив багато результатів у вигляді укладених договорів на виконання певних робіт із низкою виробничих організацій, Міністерством екології та природних ресурсів України, Державною службою України з надзвичайних ситуацій, НАК “Нафтогаз України”, з державними адміністраціями Києва, Херсона тощо.

Відділ геоінформаційних технологій у дистанційному зондуванні Землі. Завідувач відділом — доктор технічних наук М. О. Попов. Відділ створено у 2004 р. з метою інформаційно-методичного та алгоритмічного забезпечення робіт із ДЗЗ.

Основні напрями досліджень — інформаційно-методичне та алгоритмічне забезпечення робіт із ДЗЗ, а саме: методичне й алгоритмічне забезпечення інтерпретації аерокосмічних зображень; обґрунтування вимог щодо обліку перспективних бортових комплексів ДЗЗ; розроблення методів оцінювання якості та інформаційних властивостей цифрових багато- і гіперспектральних аерокосмічних зображень; опрацювання методології тестування супутникових технологій на основі геоінформаційних технологій і польових полігонних вимірювань; створення вітчизняної понятійно-нормативної бази у галузі ДЗЗ, її вдосконалення і гармонізація з відповідними міжнародними стандартами та нормами.

Учені відділу розробляють теоретико-методичні основи оброблення та аналізу багато- і гіперспектральних аерокосмічних зображень для вирішення різноманітних тематичних завдань ДЗЗ, нові ефективні алгоритми автоматизованої інтерпретації аерокосмічних зображень.

Результати проведених досліджень впроваджуються при вирішенні задач реальної економіки та оборонної тематики.

Відділ аерокосмічних досліджень у геології. Завідувач відділом — доктор геологічних наук С. М. Єсіпович. Підрозділ сформовано на базі колишнього Київського відділу Інституту геології і розробки горючих копалин Міністерства нафтової і газової промисловості СРСР (1976 р.). На початку 1992 р. він трансформувався в Інститут космоаерометодів, який у травні 1992 р. увійшов до складу

ЦАКДЗ. Науковий напрям відділу — розроблення методологій вирішення геологічних завдань на базі широкого використання матеріалів аерокосмічних зйомок у комплексі з геолого-геофізичними, геохімічними та іншими даними.

За допомогою матеріалів космічного знімання створено нові технології пошуку покладів вуглеводнів на суходолі та шельфі; апробовано супутникову технологію прогнозування покладів нафти і газу в межах Дніпровсько-Донецької западини, а на окремих її нафтогазоперспективних площах оцінено перспективи нафтогазоносності. Результати апробації демонструють високу достовірність цієї технології і відкривають перспективи для прогнозування нових родовищ вуглеводнів, що дозволить значною мірою вирішити паливно-енергетичну проблему України, використовуючи власну сировинну базу. Застосування зазначеної технології дає змогу підвищити геологічну й економічну ефективність геологорозвідувальних робіт щодо виявлення покладів нафти і газу, збільшити обсяг приросту запасів вуглеводневої сировини на фоні зниження фінансових витрат. За допомогою дистанційних методів розроблено методику аналізу нафтогазового потенціалу шельфу Чорного моря; здійснено рейтингове оцінювання нафтогазоперспективних об'єктів на шельфі, визначено структурно-геоморфологічні та геолого-геофізичні критерії для північно-західного шельфу Чорного та акваторії Азовського морів. Створено модернізований комплекс методів прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини, який включає регіональний, зональний і детальний рівні, кореляцію поверхневих і глибинних аномалій.

Відділ системного аналізу. Завідувач відділом — член-кореспондент НАН України О. Д. Федоровський. Підрозділ створено у 2002 р. з метою проведення науково-дослідних робіт у напрямі наукового обґрунтування і впровадження методів системного аналізу для вирішення геоecологічних і природоресурсних завдань на основі аерокосмічної інформації ДЗЗ.

Основні напрями досліджень — виконання науково-дослідних робіт, передбачених державними і відомчими замовленнями; фундаментальних, пошукових та прикладних науково-дослідних робіт за такими спрямуваннями: розроблення наукових основ системного моделювання процесу одержання інформації космічними системами ДЗЗ, визначення їхньої оптимальної структури, параметрів та ефективності використання; опрацювання системної методології розвитку та підвищення ефективності космічного геомоніторингу для вирішення ресурсних і екологічних завдань природокористування.

У відділі створено наукові основи для моделювання процесу одержання інформації космічними си-

стемами ДЗЗ, визначено їхню оптимальну структуру, параметри та ефективність використання. Сформовано системну методологію розвитку та підвищення ефективності аерокосмічного геомоніторингу для вирішення проблем природокористування в процесі збільшення обсягу виконуваних тематичних завдань (зростання ризику надзвичайних ситуацій, розширення пошуку корисних копалин, аграрний комплекс, сталий розвиток міських агломерацій, якість води та водопостачання, екологічний стан довкілля, оборонний комплекс) та вдосконалення аерокосмічних систем ДЗЗ.

Відділ аерокосмічних досліджень у геоecології. Завідувач відділом — кандидат геологічних наук В. Є. Філіпович. Підрозділ було засновано у 1992 р. з метою організації і проведення науково-дослідних робіт у напрямі розроблення теорії та методів використання матеріалів багатоспектрального аеро- і космічного знімання для вирішення геоecологічних проблем. Основними завданнями та функціями відділу є створення нових методів і технологій комп'ютерного оброблення та інтерпретації аерокосмічних зображень для вирішення природоохоронних геоecологічних проблем, розроблення методології екологічного моніторингу в умовах сучасної трансформації урбанізованих територій на основі новітніх супутникових технологій ДЗЗ.

У відділі опрацьовано методичні принципи і технології використання матеріалів дистанційної інформації під час виконання геологознімальних робіт в Україні; запропоновано, на основі використання космічних даних, модернізацію методики оцінки шкоди, нанесеної державі внаслідок нелегального видобування бурштину. На основі дистанційних даних побудовано просторово-часові моделі підтоплення територій ґрунтовими водами в умовах міських агломерацій; за допомогою наземного спектрометрування та використання матеріалів ДЗЗ розроблено методичні прийоми виявлення техногенного забруднення урбанізованих територій важкими металами, а також джерел забруднень водного середовища. Створено методичні основи оцінювання геоecологічного стану промислових центрів (для Нікополя, Борислава, Київ, Кривого Рогу, Запоріжжя, Херсону, Миколаєва, Маріуполя). На основі розробленої геоінформаційної системи (ГІС), використання космічної інформації, аналізу цифрових моделей рельєфу та геолого-геоморфологічних даних дано обґрунтування прогнозу розвитку зсувонебезпечних процесів на окремих ділянках Придніпровської зсувної зони м. Києва. Розроблено методику аналізу теплового поля урбанізованих територій за даними космічної зйомки та наземних термометричних досліджень (на прикладі м. Київ). Розроблено методичні основи застосування космічних даних у тепловому

діапазоні для оцінки і прогнозування реакції міського середовища на зміни клімату. Створено просторово-часові ряди теплового поля м. Київ, що дозволяє у моніторинговому режимі аналізувати динаміку теплового навантаження на місто, визначати ділянки з підвищеним тепловим забрудненням, проведено районування території міста за ступенем комфортності проживання населення та дано рекомендації щодо прийняття управлінських рішень з метою поліпшення містобудівного планування. Розроблено методичні основи застосування космічних і наземних даних у тепловому діапазоні для оцінки тепловтрат у місті по лінії “місто-район-окремі будинки”. Результати проведених робіт стосовно Києва використовують природоохоронні та комунальні структури Київської міської держадміністрації. Розробки відділу з використання дистанційних даних для геології та геоecології впродовж останніх 15 років регулярно впроваджуються у підприємства Державної геологічної служби України.

НАН України та Державне космічне агентство України (ДКАУ) визначили ЦАКДЗ головною організацією з науково-методичного керівництва дослідженнями з ДЗЗ, які виконуються установами НАН України. На базі Центру працюють Наукова рада НАН України з проблеми “Вивчення природних ресурсів дистанційними методами” та спеціалізована рада із захисту докторських і кандидатських дисертацій у галузі технічних та геологічних наук за спеціальністю “Дистанційні аерокосмічні дослідження”. ЦАКДЗ — перша в Україні наукова організація, яка свого часу була прийнята до Європейської асоціації лабораторій дистанційного зондування (EARSeL). Центр плідно співпрацює з Європейським космічним агентством (ESA), а також із космічними агентствами й установами США, Німеччини, Франції, Японії, Угорщини, Польщі, Білорусі, зокрема в межах програм GEOSS-GMES та ін.

У науковому доробку Центру — атласи “Україна з Космосу” та “Космос — Україні”, комп'ютерно дешифровані космознімки українсько-російського космічного апарата “Океан-О”, українського супутника “Січ-1”; підготовлено аналогічні матеріали знімків супутника “Січ-2”, в яких показано можливість їх використання для вирішення актуальних для України природоресурсних і природоохоронних завдань.

Разом із Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу (IIASA) та Міжнародною програмою “Партнерські ініціативи в галузі наук про Землю з вивчення Північної Євразії” (NEESPI) у 2010 та 2012 рр. опубліковано російсько- й англomовний варіанти монографії “Зміни земних систем у Східній Європі”, передмову до яких написав президент НАН України академік НАН України Б. Є. Патон.

Центр неодноразово посідав перші місця у Відділенні наук про Землю НАН України за кількістю одержаних патентів.

Упровадження розроблених у ЦАКДЗ новітніх супутникових технологій дозволило провести оцінку врожайності на полях Новобузького, Миколаївського та Новоодеського районів Миколаївської області під врожай 2012 р.; Фастівського району Київської області під урожай 2013 та 2014 рр.; південно-східних районів Київської області під урожай 2015 та 2016 рр. Матеріали передані ДУ “Держгрунтохорона” та ТОВ “Баришівська зернова компанія”.

На основі розроблених технологій космічного геомоніторингу створено комплект цифрових карт (ПІС-технологія) порушених територій Олевського району Житомирської області в результаті нелегального видобування бурштину. Передані матеріали будуть використані Центром екологічної освіти та інформації для проекту ПРООН/ГЕФ “Рекультивація земель, порушених внаслідок незаконного видобування корисних копалин на цінних природних територіях” для моніторингу екологічного стану та рекультивації земель, що зазнали знищення ґрунтово-рослинного шару внаслідок нелегального видобування бурштину.

Казенному підприємству спеціального приладобудування “Арсенал” передано робоче програмне забезпечення для субпіксельної обробки зображень, що отримуються матричною знімальною камерою космічної системи “Січ” (2013 р.), та спеціалізований програмний модуль субпіксельної обробки кадрів поверхні Землі, які формуються сканером дальнього інфрачервоного діапазону (СДІЧ) у 2016 р., який буде використаний для розробки програмного забезпечення для наземної обробки супутникових зображень, що формуються бортовою знімальною апаратурою перспективної супутникової системи ДЗЗ “Січ-2М”.

До Департаменту житлово-комунальної інфраструктури Київської міської державної адміністрації (КМДА) передано базову ПІС для супутникового моніторингу при контролі розвитку зсувонебезпечних процесів на Правобережжі м. Київ. За матеріалами космічних зйомок проведено моніторингові дослідження розвитку зсувів упродовж останнього десятиріччя (2005–2015 рр.). Результати досліджень можуть бути використані при плануванні протизсувних заходів у м. Київ, наповненні муніципальної ПІС, коректуванні містобудівного планування та екологічної політики Київської Держадміністрації.

Результати дослідницької діяльності Центру високо поціновані в Україні. Вченим Центру присуджено Державні премії України в галузі науки і техніки:

- у 2004 р. — В. І. Ляльку (як співавторові) за цикл робіт під назвою “Наукові основи формування ресурсів підземних вод як джерела якісного водопостачання та раціонального господарського водокористування”;
- у 2005 р. — О. Д. Федоровському, М. О. Попову та

О. І. Сахацькому (як співавторам) за цикл робіт під назвою “Розв’язання проблем раціонального природокористування методами аерокосмічного зондування Землі та моделювання геодинамічних процесів”.

- у 2011 р. — С. А. Станкевичу (як співавтору) за цикл наукових праць, присвячених технології дешифрування космознімків.

Академік НАН України В. І. Лялько, член-кореспондент НАН України О. Д. Федоровський і професор М. О. Попов відзначені почесним званням “Заслужений діяч науки і техніки України”.

Перспективи розвитку наукових досліджень Центру пов’язані зі створенням єдиної теорії ДЗЗ, в основу якої мають бути покладені сучасні уявлення наук про Землю, теорія енергомасообміну в геосистемах, досягнення в теорії систем; удосконалення моделей фізичних процесів, що відбуваються на суходолі та шельфі, у контексті досліджень нафтогазоперспективності територій; розроблення теоретико-методичних підходів, моделей, алгоритмів, демонстраційного програмного забезпечення та пілотних технологій комплексного геоінформаційного аналізу матеріалів аерокосмічних спостережень Землі і наземних даних, а також наукові рекомендації щодо впровадження цих розробок у практику; створення системи глобального та регіонального космічного екологічного моніторингу, зокрема моніторингу екологічного стану урбанізованих територій, аудиторського моніторингу балансу парникових газів для надійного обґрунтування та уточнення їхніх квот для різних країн та оцінювання потенційних можливостей продажу квот, зокрема Україною.

Результати досліджень Центру за 25-річний період його роботи відображені майже в 800 публікаціях у вітчизняних і зарубіжних виданнях, насамперед у 17 монографіях. Найбільш значущі з них такі: “Аэрокосмические методы в геоэкологии”, “Космос — Україні: Атлас дешифрованих знімків території України з КА “Океан” та інших космічних апаратів”, “Інформатизація аерокосмічного землезнавства”, “Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування”, “Изменения земных систем в Восточной Европе”, “Earth Systems Change over Eastern Europe”, “Спутниковые методы поиска полезных ископаемых”, “Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки”, навчальний посібник “Аерокосмічні знімальні системи” та науково-методичний посібник “Аерокосмічні дослідження геологічного середовища”.

Робота Центру п’ять разів розглядалась на засіданнях Президії НАН України, кожного разу одержано високі оцінки.

Нині Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі динамічно розвивається, вирішує актуальні наукові та прикладні проблеми, сприяючи тому, щоб

наукові здобутки його співробітників посіли гідне місце у вітчизняній та світовій науці та зробили гідний внесок у вирішення актуальних для України задач реальної економіки та оборони.

Концептуально стратегія розвитку досліджень в ЦАКДЗ ІГН НАН України в перспективі до 2020 р. полягатиме в реалізації (з урахуванням науково-прикладної спеціалізації установи) основних положень розвитку світового суспільства, визначених рішеннями ООН зі сталого безконфліктного розвитку людства шляхом забезпечення його перш за все трьома необхідними складовими життєдіяльності, а саме — продовольством, питною водою та енергоресурсами.

У вирішенні цієї планетарної проблеми суттєву роль відіграватиме розробка сучасних методів та технологій використання матеріалів гіперспектральних прицевійних аерокосмічних зйомок та комп'ютерного моделювання процесів енергомасообміну в геосферах Землі з метою розробки рекомендацій для вибору сценаріїв раціонального природокористування в умовах збалансованого соціо-економічного розвитку різних країн при відповідних взаємних гарантіях оборонного характеру та міжнародної безпеки.

Публікації

1. Космическая информация в геологии / В. Г. Трифонов [и др.]. — М.: Наука, 1983. — 536 с.
2. Лялько В. И. Аэрокосмические методы в геоэкологии / В. И. Лялько, Л. Д. Вульфсон, В. Ю. Жарый. — К.: Наук. думка, 1992. — 206 с.
3. Україна з космосу (Атлас дешифрованих знімків території України з космічних апаратів): 2-ге вид. / за ред. В. І. Лялька, О. Д. Федоровського. — К.: Наук. думка, 1999. — 34 с.
4. Космос — Україні (Атлас дешифрованих знімків території України з КА “Океан” та інших космічних апаратів) / за ред. В. І. Лялька, О. Д. Федоровського. — К.: Наук. думка, 2001. — 106 с.
5. Нові методи в аерокосмічному землезнавстві / за ред. В. І. Лялька. — К.: Наук. думка, 1999. — 262 с.
6. Інформатизація аерокосмічного землезнавства / ред. С. О. Довгий, В. І. Лялько. — К.: Наук. думка, 2001. — 606 с.
7. Словник із дистанційного зондування Землі / під ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К.: СМП АБЕРС, 2004. — 170 с.
8. Державний стандарт України ДСТУ 4220-2003 “Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять”. — К.: Держспоживстандарт України, 2003. — 18 с.
9. Державний стандарт України ДСТУ 4758:2007 “Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення даних. Терміни та визначення понять”. — К.: Держспоживстандарт України, 2007. — 12 с.
10. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 358 с.
11. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи. Навчальний посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. — Львів: “Львівська політехніка”, 2010. — 292 с.
12. Изменения земных систем в Восточной Европе / Ред. В. И. Лялько. — Киев: ПП “Фолиант”. 2010. — 581 с. (за участю провідних фахівців ключових дослідницьких установ України, країн Європи (Міжнародний інститут прикладного системного аналізу — PIASA), а також США (Міжнародна програма з вивчення північної Євразії — NEESPI).
13. Аерокосмічні дослідження геологічного середовища. Науково-методичний посібник / А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько [та ін.]. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба, — К., 2010. — 246 с.
14. Earth Systems Change over Eastern Europe / P. Groisman, V. Lyalko (Eds). — K.: Akademperiodyka, 2012. — 488 p.
15. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / под ред. акад. НАН Украины В. И. Лялько и д-ра техн. наук М. А. Попова. — К.: Карбон-Лтд, 2012. — 436 с.
16. Инфраструктура спутниковых геоинформационных ресурсов и их интеграция: Сб. науч. ст. под ред. д-ра техн. наук М. А. Попова и д-ра техн. наук Е. Б. Кудашева. — К.: ООО Карбон-Сервис, 2013. — 192 с.
17. Парниковый эффект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки / за ред. В. І. Лялька. — К.: Наук. думка, 2015. — 283 с.

К 25-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ОСНОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ “НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ”

В. И. Лялько, М.А. Попов, А. Д. Федоровский, В. Е. Филипович, С. М. Есипович, О. В. Седлерова

ON THE 25TH ANNIVERSARY FROM THE FOUNDATION OF THE STATE INSTITUTE “SCIENCES CENTER FOR AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH AT THE INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES OF NAS OF UKRAINE”

V. I. Lyalko, M. A. Popov, A. D. Fedorovsky, V. E. Filipovich, S. M. Esipovich, O. V. Sedlerova

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. Куссуль, 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 даних

© Я. І. Зелик, Н. М. Куссуль, 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.

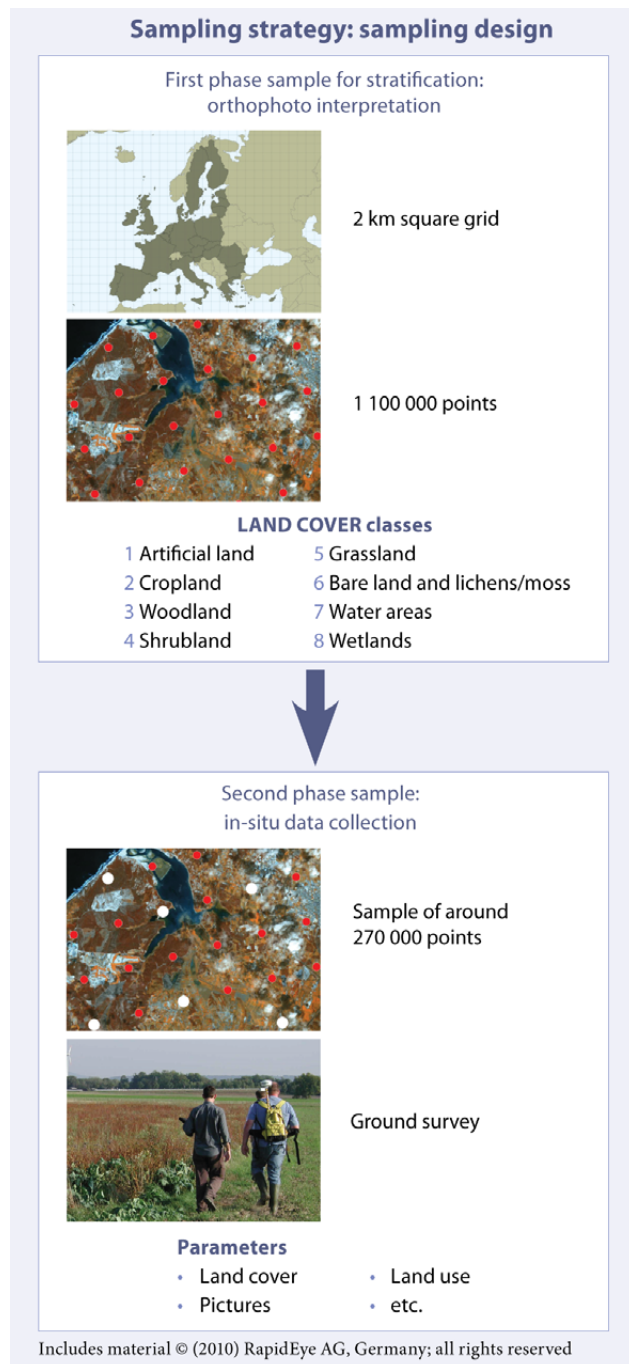


Рис. 1. Схема формування вибірок при обстеженні LUCAS у двох фазах

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

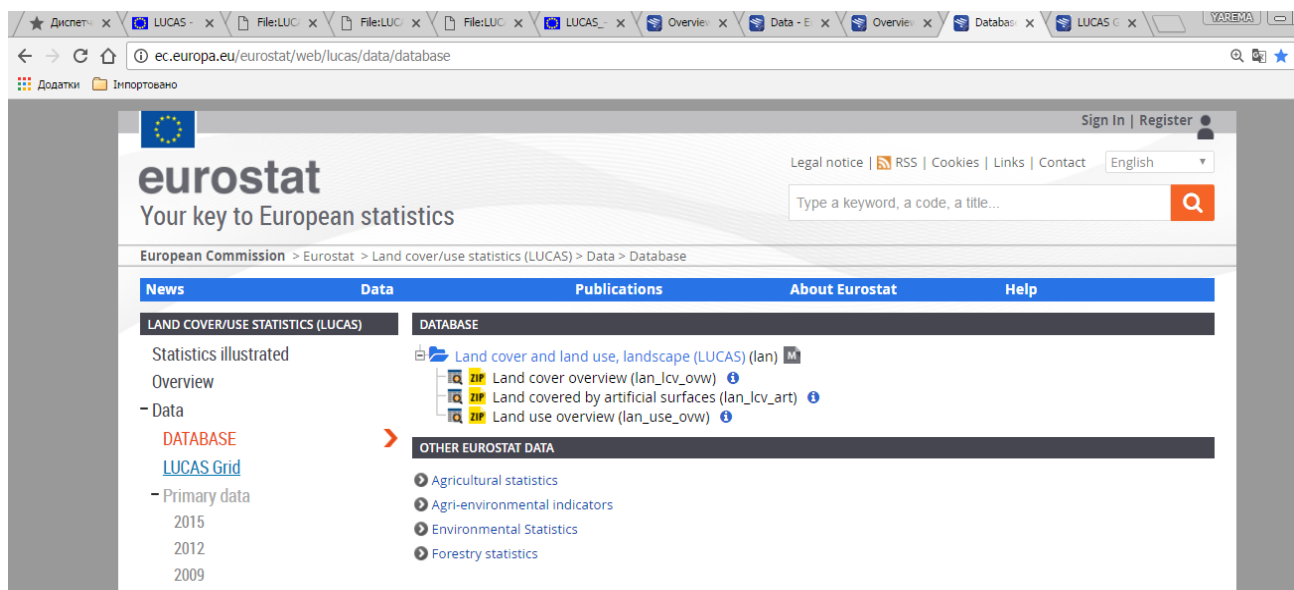


Рис. 2. Сторінка сайту з доступом до бази агрегованих даних LUCAS

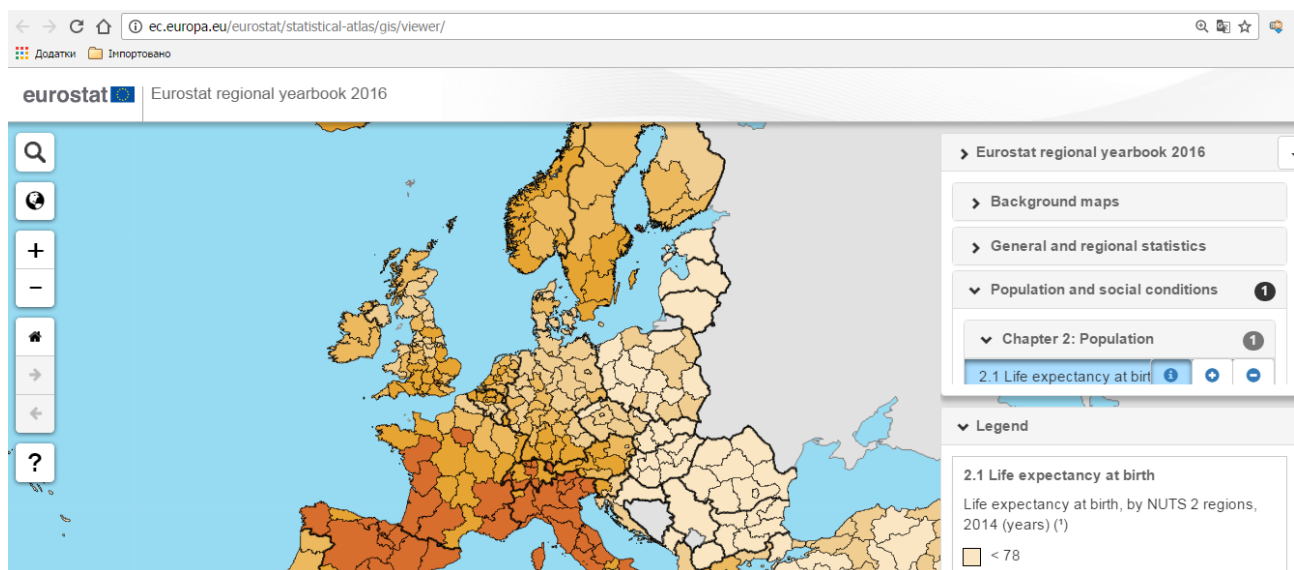


Рис. 3. Інтерфейс LUCAS онлайн-переглядача для перегляду колекцій даних 2009 і 2012 рр.

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

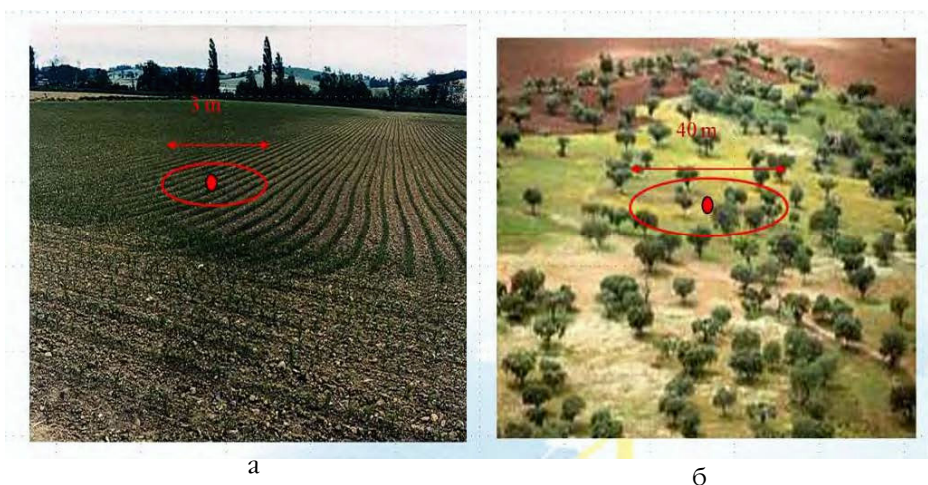


Рис. 4. Ілюстрація вибору: а) контрольної точки обстеження LUCAS (радіус 1.5 м); б) розширеного вікна обстеження (радіусом 20 м) в околі контрольної точки обстеження LUCAS при розрідженому покритті ділянки представниками кількох класів

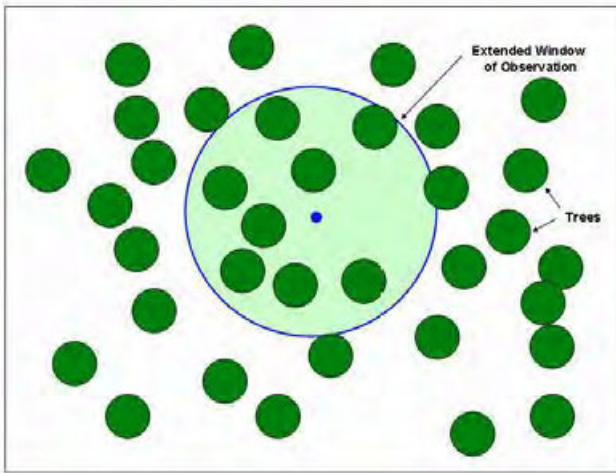


Рис. 5. Ілюстрація застосування розширеного вікна обстеження LUCAS в околі контрольної точки при розрідженому покритті ділянки представниками кількох класів

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

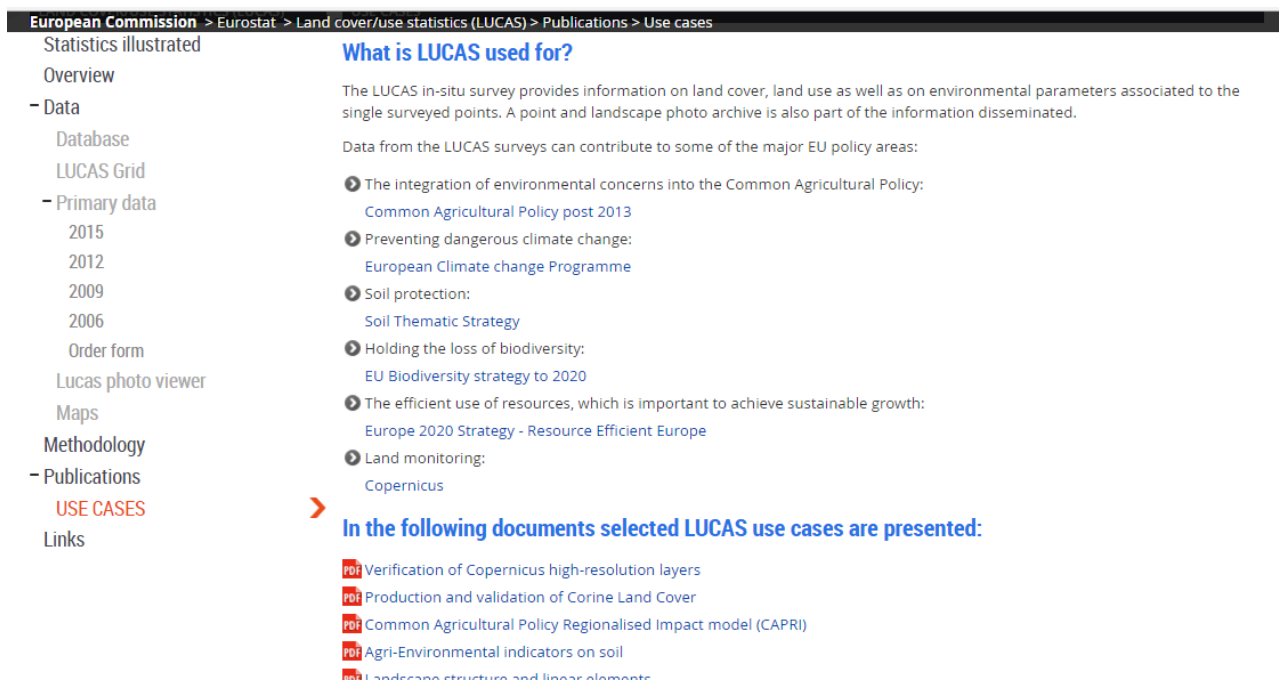


Рис. 6. Галузі та приклади використання методології і даних обстежень LUCAS

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, євроспільноти, 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 політика 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].

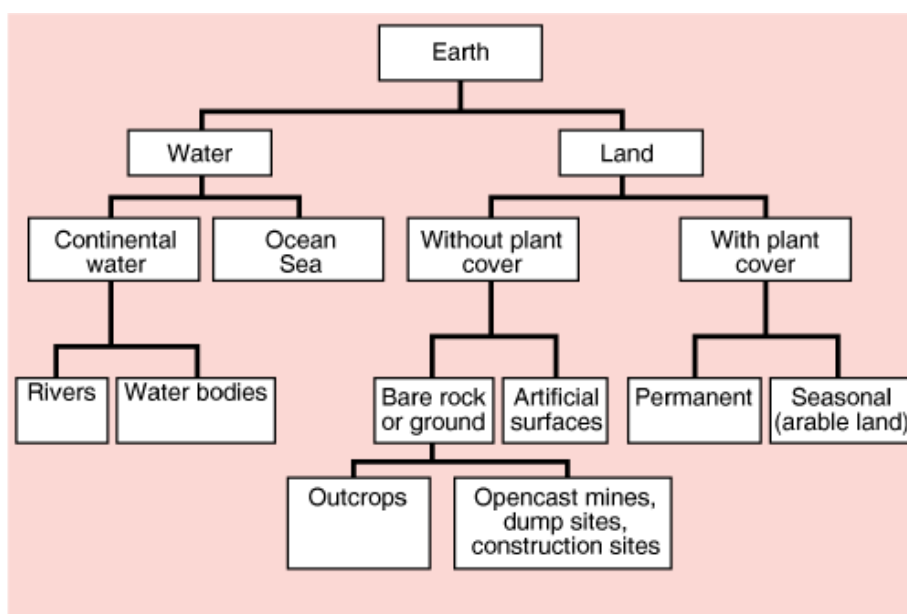


Рис. 7. Структурна схема номенклатури класів земного покриття за проектом CORINE

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 комп'юлювання 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.

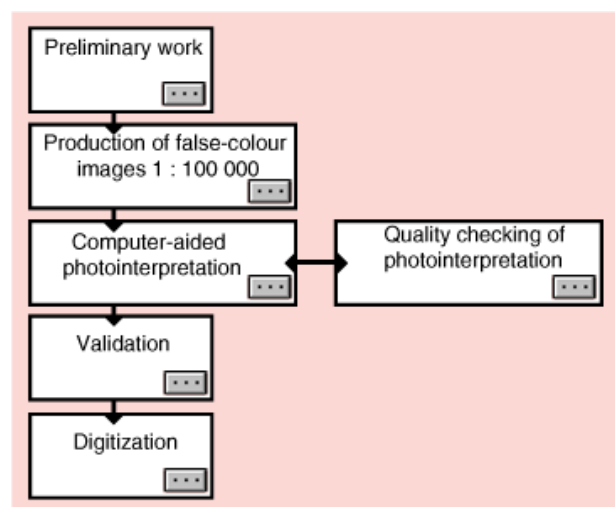


Рис. 8. Структурна схема реалізації методів CORINE Land Cover

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.

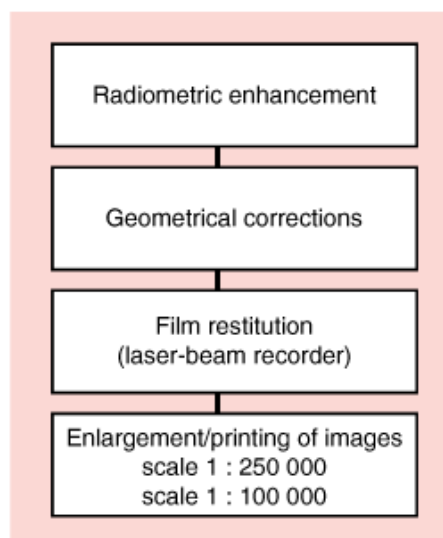


Рис. 9. Загальна структурна схема реалізації методів створення псевдокольорових зображень

- 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 покриття мали чітку взаємну відповідність. Таким чином, кожен результат фотоінтерпретації земного покриття, 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

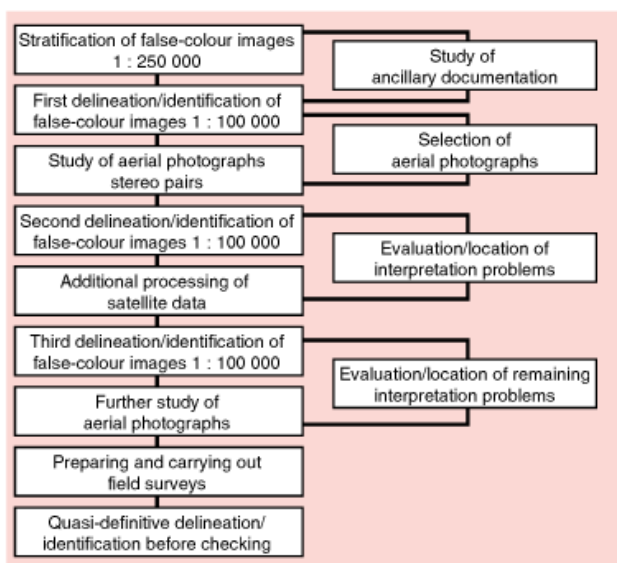


Рис. 10. Схема реалізації процедури автоматизованої комп’ютерної фотоінтерпретації супутникових зображень

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].

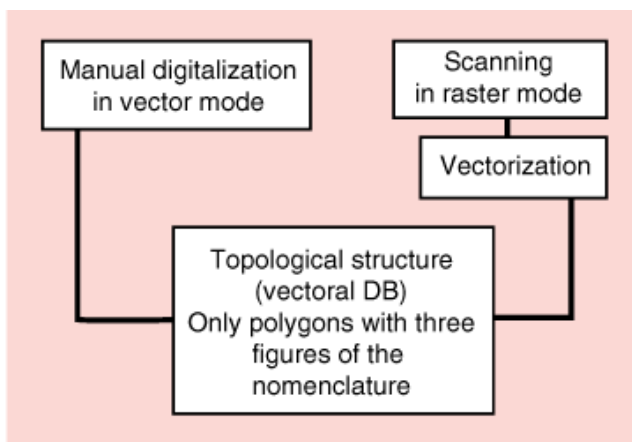


Рис. 11. Загальна схема процедури оцифрування результатів фотоінтерпретації у проєкті CORINE Land Cover

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 Європейсько-го 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

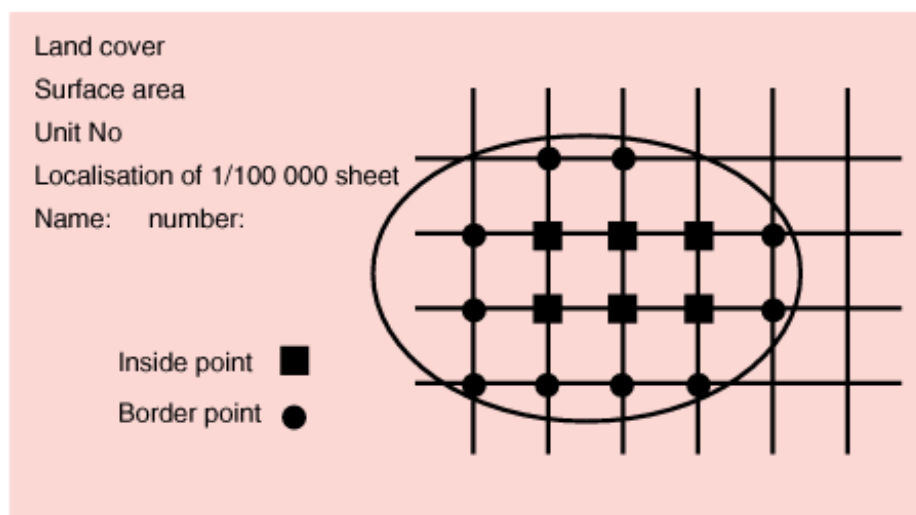


Рис. 12. Побудова валідаційної сітки у проєкті CORINE Land Cover

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 порталу [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

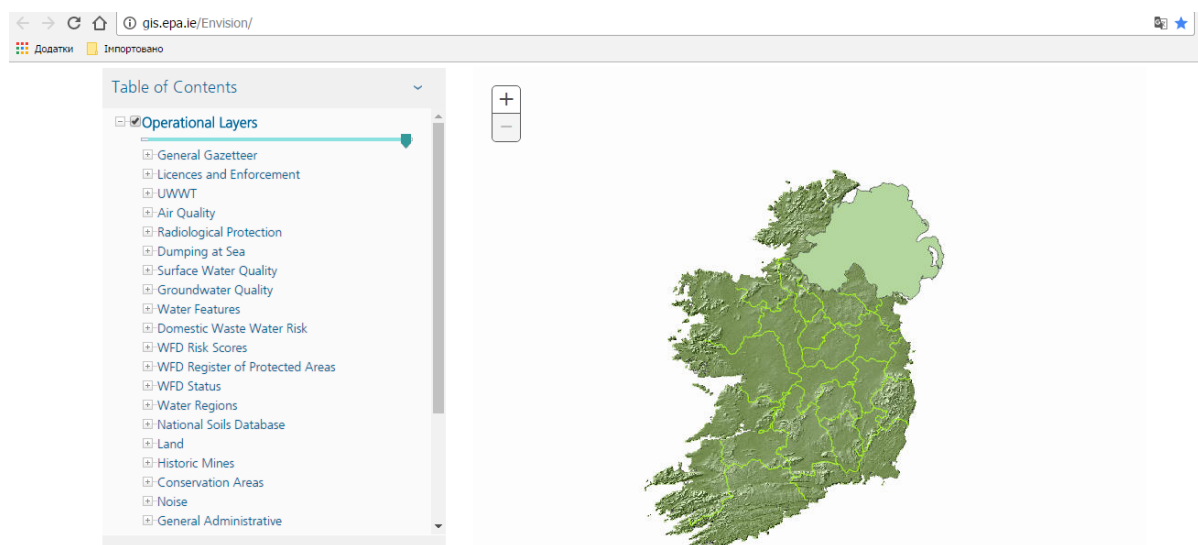


Рис. 13. Web-інтерфейс порталу EPA Map Viewer з переліком доступних тематичних шарів

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

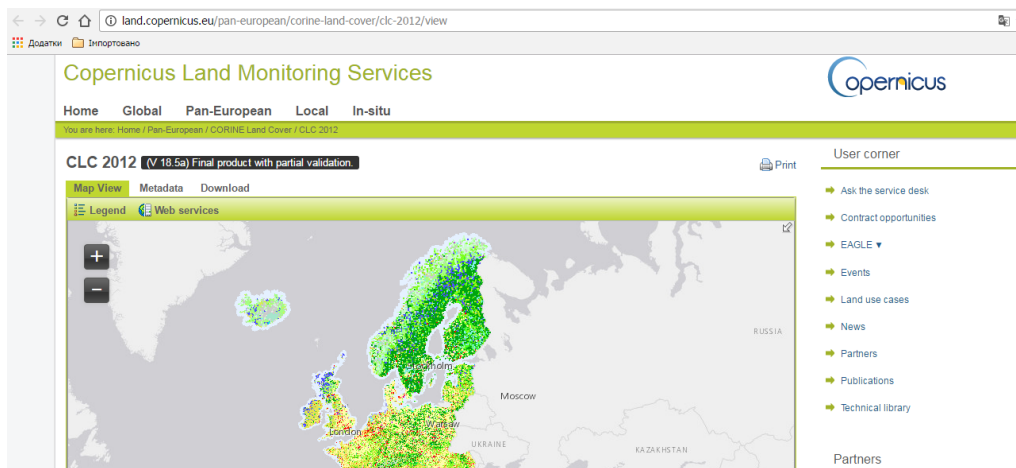


Рис. 14. Вікно інтерактивного web-переглядача з картографічним інтерфейсом для перегляду продуктів CLC-2012 і отримання відповідних сервісів

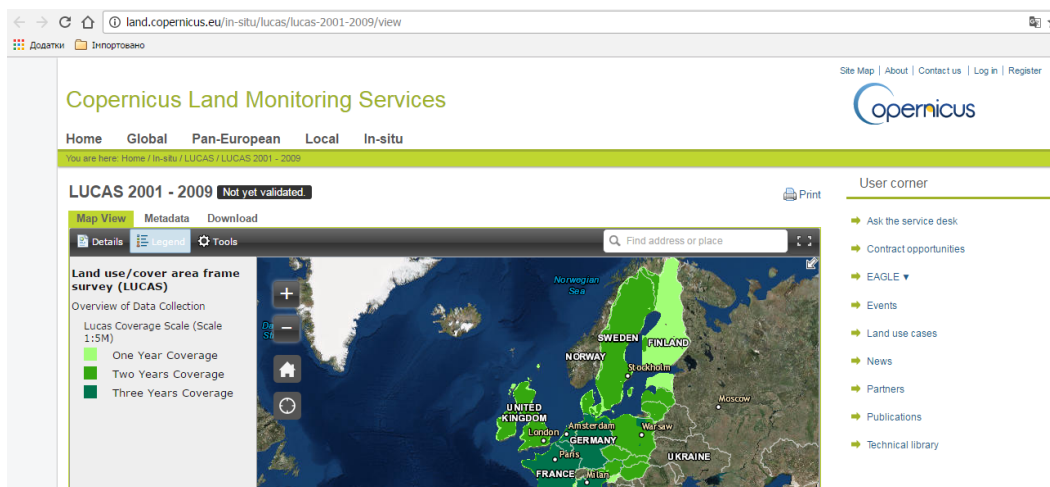


Рис. 15. Вікно інтерактивного web-переглядача з картографічним інтерфейсом для перегляду продуктів LUCAS 2001-2009 і отримання відповідних сервісів

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 нейромережевий 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.

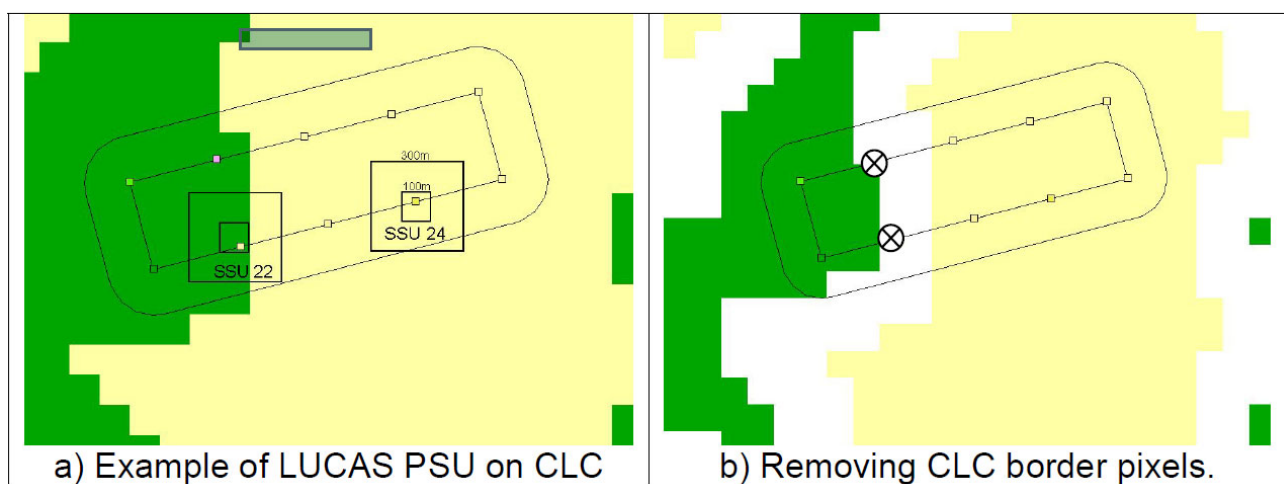


Рис. 16. Вилучення з розгляду приміжових пікселів CLC, щоб у поле зору конкретної контрольної точки LUCAS не потрапляли змішані пікселі зображення, отриманого у результаті фотоінтерпретації за методологією CORINE.

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 багатошарових 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 сільськогосподарського 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	

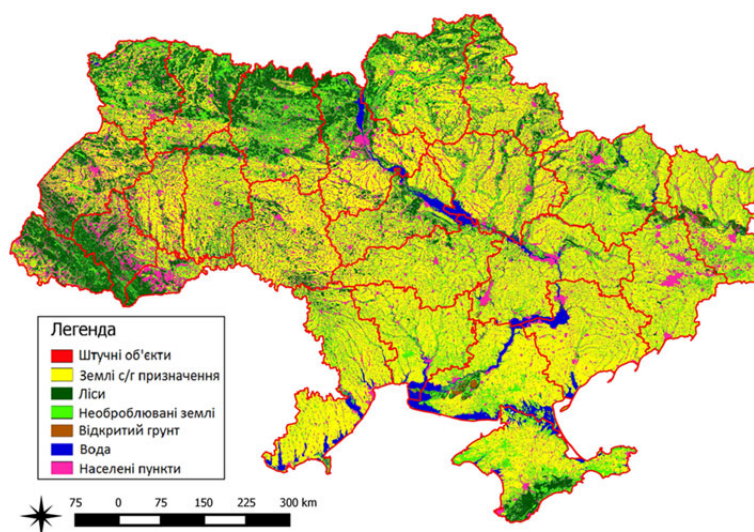


Рис. 17. Карта класифікації культур для всієї території України за супутниковими даними космічних систем Landsat 5/7 у 2010 р.

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.

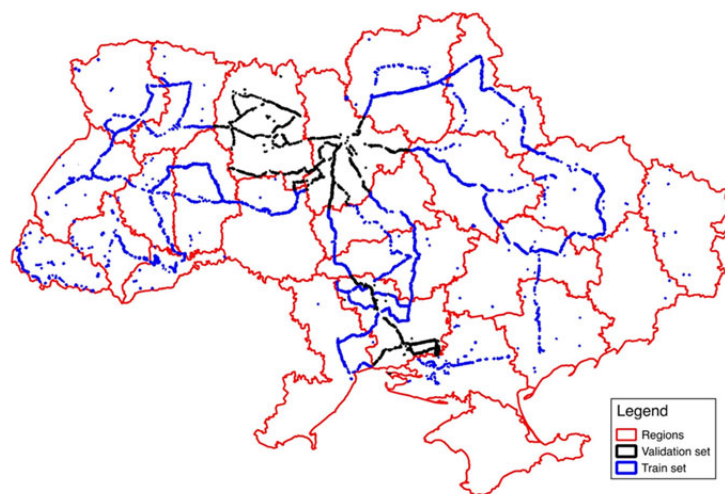


Рис. 18. Вибірки на території України за 2016 р.

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. Zelyk, 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 Develo-

- 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

УДК 528.8.04:633.11

Аналіз та порівняння вегетаційних індексів посівів озимої пшениці, розрахованих на основі дистанційних даних зі супутника Sentinel-2 та спектрорадіометра FieldSpec

В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак*, О. М. Сибірцева, С. С. Дугін, М. В. Ваколюк

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна

Досліджено десять вегетаційних індексів (BI), обчислених одночасно як за супутниковими даними Sentinel-2, так і за результатами наземного спектрометрування приладом ASD FieldSpec® 3FR, для тотожних за географічними координатами ділянок виробничих посівів озимої пшениці двох сортів Богдана і Скаген. Виявлено, що значення більшості досліджених BI за супутниковими даними місії Sentinel-2 близькі за величиною до аналогічних індексів, обчислених за вузькими спектральними каналами ASD FieldSpec® 3FR, за винятком DRI_{CI} (Double ratio index for chlorophyll index) та CI_{green} (ratio green chlorophyll index), значення яких за супутниковими каналами значно нижчі, ніж за показниками спектрорадіометра. Продемонстровано, що розбіжності BI за Sentinel-2 та ASD FieldSpec® 3FR залежать від фази розвитку рослин озимої пшениці: впродовж вегетації коефіцієнти кореляції між ними зростають для посівів обох досліджених сортів.

Ключові слова: вегетаційні індекси, Sentinel-2, наземна спектрометрична зйомка, виробничі посіви озимої пшениці

© В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак, О. М. Сибірцева, С. С. Дугін, М. В. Ваколюк. 2017

Вступ

До середини 2015 року одними з найбільш поширених супутникових даних, котрі використовувались для дистанційної оцінки змін довкілля, в тому числі і досліджень агроландшафтів, були знімки, виконані бортовими сенсорами американських космічних апаратів (КА) програми Landsat, яка триває вже понад 40 років. Проте 23 червня 2015 року з космодрому Куру (Французька Гвіана) було виведено на орбіту супутник нового покоління Sentinel-2A Європейського космічного агентства (ЄКА). Цей запуск здійснено в рамках космічної програми моніторингу Землі Copernicus. Її метою є створення низки супутників, які збиратимуть величезний масив різних даних про стан планети. Всі ці показники після обробки і зіставлення повинні надати повну картину змін, що відбуваються на Землі. Згідно умов доступу до даних [8], різні групи користувачів мають вільний доступ до тієї інформації, яка представляє для них інтерес.

Програма Sentinel ЄКА охоплює п'ять різновидів супутників: Sentinel-1 призначений для отримання комплексних радіолокаційних даних; Sentinel-2 і Sentinel-3 забезпечують моніторинг земної поверхні і океану за допомогою мультиспектральних інструментів; Sentinel-4 і Sentinel-5 створені для метеорологічних і кліматичних досліджень, що ґрунтуються на вивченні складу атмосфери.

Вже через кілька днів після виходу на орбіту КА

Sentinel-2A було отримано перші знімки дуже високої якості. Камери супутника охоплюють смугу 290 км завширшки, що на 65 км більше, ніж у КА Landsat-8, та й просторова розрізненість більшості спектральних каналів у нього краща у порівнянні з американським КА. Згідно технічних характеристик, систематичне покриття космічними знімками Sentinel-2 території планети здійснюватиметься між 84° північної і 56° південної широти, з частотою зйомки на рівні екватора приблизно раз у п'ять днів (після запуску Sentinel-2B), в середніх широтах — раз у два–три дні. Висота орбіти супутника становить 786 кілометрів. Зйомка ведеться в 13-ти спектральних каналах з просторовим розрізненням 10, 20 або 60 м (табл. 1) [10].

Таблиця 1.

Коротка характеристика каналів супутників місії Sentinel-2 [10]

Номер каналу	Центральна довжина хвилі, нм	Ширина каналу, нм	Просторова розрізненість, м
2	490	65	10
3	560	35	10
4	665	30	10
8	842	115	10
5	705	15	20
6	740	15	20
7	783	20	20
8a	865	20	20
11	1 610	90	20
12	2 190	180	20
1	443	20	60
9	945	20	60
10	1 375	30	60

* E-mail: zhgm@casre.kiev.ua

Оскільки минуло лише півтора року після запуску супутника (23 червня 2015 р.), то у відкритому друці з'явилося порівняно небагато статей стосовно застосування знімків Sentinel-2A для вирішення екологічних проблем та/чи класифікаційних задач. Зокрема, цікавими є результати дослідження М. Іммітцера зі співавт. [7], котрі представили попередні результати оцінки двох класифікаційних можливостей передексплуатаційних (серпень 2015 р.) знімків Sentinel-2 для розрізнення типів сільськогосподарських культур і дерев різних таксонів. У першому випадку знімок Sentinel-2 (30 серпня 2015 р.) був використаний для створення карти посівних територій шести видів ярих сільськогосподарських культур (кукурудза, соняшник, соя, цукровий буряк і овочеві — цибуля та морква) та відокремлення озимих культур від чистого ґрунту. Досліджувана територія розташована на низовині Мархфелд, яка знаходиться на схід від Відня в Нижній Австрії і є традиційним постачальником свіжої городини для жителів австрійської столиці та вважається “житницею Австрії”. Загальна точність об'єктно-орієнтованої і попиксельної класифікації перелічених вище культур становить відповідно 76.8% та 83%. У другому випадку ці ж автори здійснили картографування двох заліснених територій, розташованих поблизу міст Еберсберга та Альтеттінга на схід від Мюнхена (Баварія, Німеччина), і продемонстрували точність 66.2% для об'єктно-орієнтованої та 63.5% для попиксельної класифікації (знімок від 13 серпня 2015 р.). Результати дослідження підтвердили велике значення червоного краю та короткохвильових інфрачервоних каналів для картування рослинності. Також наголошується на важливості врахування блакитної смуги при розділенні як сільськогосподарських культур, так і видів дерев.

Загальновідомо, що вегетаційні індекси (VI), розраховані за допомогою комбінування коефіцієнтів відбиття різних спектральних діапазонів, особливо

в області т. зв. “червоного краю”, є надійним інструментом оцінки стану рослинного покриву. У статті Ж. Редокс зі співавторами [9] можна ознайомитись з великою кількістю проаналізованих VI, отриманих як за даними Sentinel-2, так і інших КА, та їх потенціалом для виділення окремих елементів ландшафту, розрізнення посівів кукурудзи від пасовищ чи класифікування різних типів лісів. Тому, з огляду на появу високоякісних знімків з КА Sentinel-2 надзвичайно актуально дослідити їх придатність для розв'язання різноманітних наукових та народногосподарських задач.

Метою даної роботи є зіставлення вегетаційних індексів, обчислених одночасно як за супутниковими даними космознімків Sentinel-2A, так і за результатами наземного спектрометрування посівів озимої пшениці спектрорадіометром ASD FieldSpec®3FR.

Методика

Озима пшениця (ОП) двох сортів Скаген (поле 1) і Богдана (поле 2) вирощувалась під урожай 2016 р. на угіддях Баришівської зернової компанії поблизу м. Березань Баришівського району Київської області. На цих полях були підібрані тестові ділянки, типові за густотою стояння рослин, де здійснювали спектрометрування та визначали інші параметри, що характеризують продукційний процес. Розташування тестових ділянок на двох досліджених у 2016 р. полях ОП представлено на рис. 1.

Загальний вигляд досліджених полів зображено на рис. 2.

Під час польових досліджень рослини ОП перебували в таких фазах розвитку:

- куціння - 08 квітня 2016 р. (рис. 3, а);
- початок виходу в трубку (2-ге міжвузля) - 28 квітня 2016 р. (рис. 3, б);
- вихід в трубку — 10 травня 2016 р. (рис. 3, в);
- молочна стиглість — 17 червня 2016 р. (рис. 3, г).



Рис 1. Схема розташування тестових ділянок на досліджених полях ОП у Баришівському районі Київської області (2016 р.).

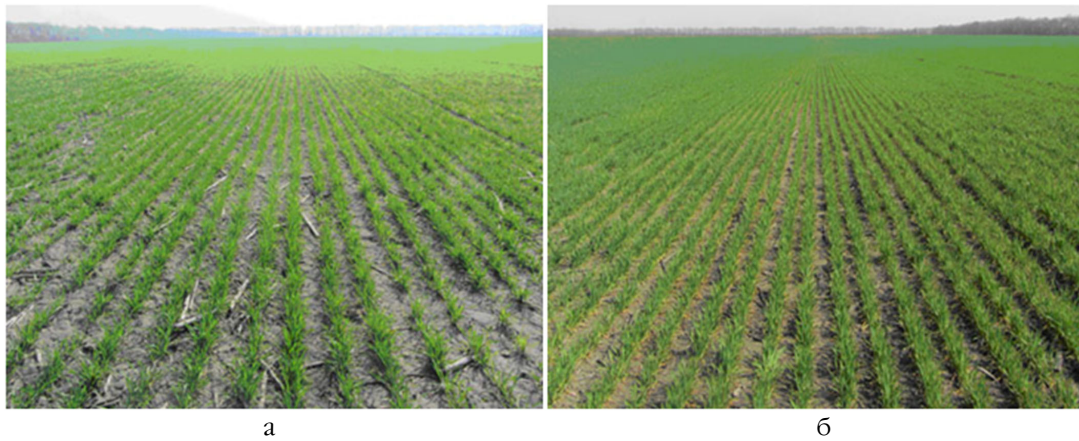


Рис 2. Загальний вигляд виробничих посівів ОП, де виконувалось спектрометрування приладом ASD FieldSpec® 3FR (квітень, 2016 р.): а - дослідне поле 1, ОП сорт Скаген; б - дослідне поле 2, ОП сорт Богдана

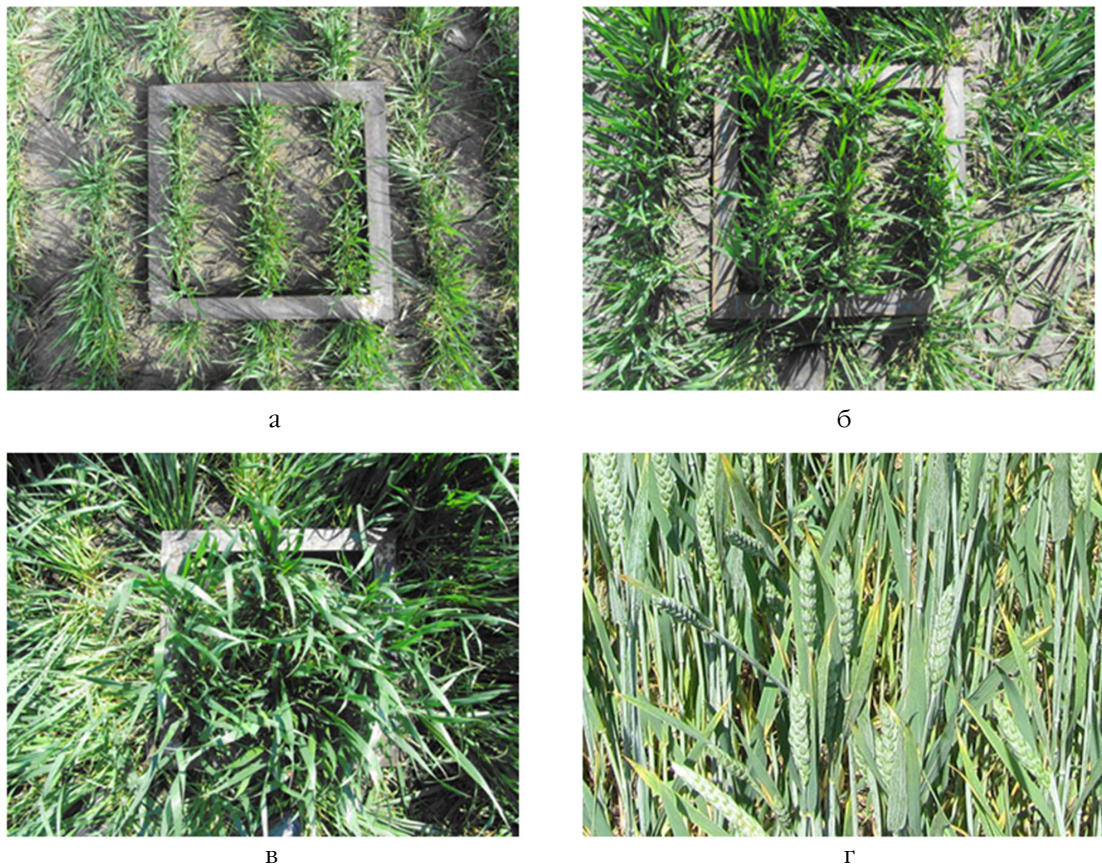


Рис 3. Фото ділянок ОП у різних фазах розвитку (весняно-літня вегетація 2016 р.): а — кущіння; б — початок виходу в трубку (2-ге міжвузля); в — вихід в трубку; г — молочна стиглість

Дослідне поле 2 характеризувалося більшою неоднорідністю, ніж поле 1, що відобразатиметься на строкатості супутникових зображень. При обстеженні полів 10 травня 2016 р. у фазі вихід в трубку було виявлено ураження ОП фузаріозом (рис. 4). В подальшому на цьому полі проявилось почорніння колоса та зменшення біомаси рослинності.

Спектрометрування посівів ОП здійснювалося від

12 до 15 год. при ясному небі приладом ASD FieldSpec® 3FR — польовим портативним переносним спектрорадіометром з робочим спектральним діапазоном від 350 до 2500 нм. Весь спектр 350–2500 нм відображається в реальному часі на дисплеї. З його іншими технічними параметрами можна ознайомитись за посиланнями: <http://www.asdi-rus.ru/catalog/25/> та <http://www.asdi.com/products/fieldspec-3-portable-spectroradiometer>. Для отриман-



Рис 4. Фото рослин ОП сорту Богдана (дослідне поле 2, 10.05.2016 р.) з проявами фузаріозу

ня спектрів відбиття оптична насадка приладу встановлювалась скраю посіву на центральній поздовжній осі ділянки. Кут огляду використаного об'єктива — 1° , тримач пістолетного типу з оптичною насадкою закріплювався на стандартному штативі з висотою над поверхнею ґрунту — 1.2 м, віддалі від об'єктива до ділянки спектрометрування посіву — 5 м, величина площі посіву, яка потрапляє в поле зору — 80 см^2 , кут нахилу оптичної осі об'єктива до вимірюваної площі — 14° . Калібрування до білого проводилось перед кожним вимірюванням на ділянці. Дані 10 повторів спектрометрування одного місця поверхні посіву кожного сорту автоматично усереднювались програмою і отриманий результат використовувався для обчислення коефіцієнтів відбиття та вегетаційних індексів.

Нами досліджувались такі вегетаційні індекси, обчислені в області червоного краю:

- (1) — позиція червоного краю REP (Red Edge Position) [2, 6];
- (2) — Мерісівський наземний хлорофільний індекс MTCI (MERIS Terrestrial Chlorophyll Index) [3];
- (3) — модифікований нормалізований вегетаційний індекс червоного краю NDRE1 (Normalised Difference Index Red Edge1) [2];
- (4) — модифікований нормалізований вегетаційний індекс червоного краю NDRE2 (Normalised Difference Index Red Edge2) [2];
- (5) — хлорофільний індекс червоного краю $CI_{\text{red edge}}$ (ratio red edge chlorophyll index) [2];
- (6) — хлорофільний індекс в зеленій зоні CI_{green} (ratio green chlorophyll index) [2];
- (7) — вегетаційний індекс нормалізованої різниці NDVI (740, 665) (Normalised Difference Vegetation Index);
- (8) — хлорофільний індекс простого відношення ZM

(750, 710) (Zarco and Miller ratio chlorophyll index) [12];

(9) — індекс простого відношення SR (670, 820) (Simple ratio) [4];

(10) — хлорофільний індекс подвійного відношення DRI_{CI} (Double ratio index) [4].

Ці індекси обчислювались за наведеними формулами:

$$REP = 700 + 40 \frac{(\bar{R} - R(700))}{(R(740) - R(700))}, \bar{R} = \frac{R(670) + R(780)}{2}; \quad (1)$$

$$MTCI = \frac{R(740) - R(705)}{R(705) - R(665)}; \quad (2)$$

$$NDRE1 = \frac{R(740) - R(705)}{R(740) + R(705)}; \quad (3)$$

$$NDRE2 = \frac{R(783) - R(705)}{R(783) + R(705)}; \quad (4)$$

$$CI_{\text{red edge}} = \left(\frac{R(783)}{R(705)} \right) - 1; \quad (5)$$

$$CI_{\text{green}} = \left(\frac{R(783)}{R(560)} \right) - 1; \quad (6)$$

$$NDVI = \frac{R(740) - R(665)}{R(740) + R(665)}; \quad (7)$$

$$ZM = \frac{R(750)}{R(710)}; \quad (8)$$

$$SR = \frac{R(670)}{R(820)}; \quad (9)$$

$$DRI_{CI} = \frac{CI_{rededge}}{SR}; \quad (10)$$

де $R(\lambda)$ — значення коефіцієнта відбиття на довжині хвилі λ нм.

Результати і обговорення

Для тестових ділянок досліджуваних полів в точках із заданими координатами (точка №1 — центр виділеної площадки 1-ого поля, точка №2 — центр виділеної площадки 2-ого поля, які показано на рис.1), на одну й ту ж дату були одержані дані з КА Sentinel-2A, і дані точкового наземного спектрометрування посівів ОП приладом ASD FieldSpec® 3FR, за якими були обчислені вегетаційні індекси. За даними космознімка Sentinel-2A вегетаційні індекси обчислювали не тільки в точці №1 із заданими координатами, але й вираховували середні значення вегетаційних індексів для площі 10×10 пікселів (що відповідає 1 га) для кожного поля з центрами в точках №1 і №2. На жаль, на дату 10.05.2016 р. знімок з КА Sentinel-2A відсутній, тому зіставлення ВІ для цього дня не виконувалося.

Далі приводимо таблиці значень ВІ, порахованих за формулами (1–10) за даними Sentinel-2A та польовими спектрометричними даними (табл. 2–8). Середні значення індексів за супутниковими даними позначено цифрами з горизонтальною рискою вгорі.

При аналізі значень ВІ рослинного покриву бралась за основу поведінка гіперспектрального індексу REP як індикатора стресу рослинності. За даними наукових досліджень [5, 11], REP є індикатором стану рослинності і може слугувати показником стійкості рослинних угруповань. Вегетаційні стреси, викликані різними чинниками, які призводять до зменшення вмісту хлорофілу, проявляються зсувами REP до коротких довжин хвиль, а зсув REP у спектрах відбиття рослинного покриву в довгохвильовому напрямі виникає із збільшенням вмісту хлорофілу в рослинах на різних фенологічних фазах їх розвитку, що і дає змогу використовувати REP для аналізу стану рослинного покриву Землі за даними гіперспектральної космозйомки. Тому поведінка ВІ оцінюється відносно індексу REP.

В табл. 2 на дату зйомки 08.04.2016 р. вегетаційні індекси REP, MTCI, NDRE1, NDRE2, $CI_{rededge}$, CI_{green} , NDVI, ZM, SR і DRI_{CI} , пораховані за даними КА Sentinel-2, демонструють однакову поведінку при зіставленні їх зі значеннями REP для ОП, окрім індексів MTCI та SR. Індекс простого відношення SR (670, 820) є допоміжним індексом для обчислення хлорофільного індексу подвійного відношення DRI_{CI} (Double ratio index), який проаналізували і запропонували німецькі вчені в 2015 р. [4]. Треба мати на увазі, що цей індекс розраховується із залученням значно ширшого каналу №8 супутника Sentinel-2 з центром 842 нм і шириною 115 нм. За приведеними даними видно, що в першу декаду квітня середні значення ВІ за Sentinel-2A для ОП сорту Скаген на 1-ому полі менші, ніж на 2-му, де зростала пшениця сорту Богдана: $\Delta REP_{середнє} = 723.28 \text{ нм} - 722.8 \text{ нм} = 0.48 \text{ нм}$, тобто у фазу кушіння сорт Богдана сформував більше зеленої маси. Теж саме характерне і для ВІ із табл.3 на цю ж дату 08.04.2016 р., де представлені ті ж самі ВІ: REP, MTCI, NDRE1, NDRE2, $CI_{rededge}$, CI_{green} , NDVI, ZM, SR і DRI_{CI} , проте вже пораховані за даними наземного спектрометрування посівів приладом ASD FieldSpec® 3FR. Тут теж для пшениці сорту Богдана значення REP більші, ніж у пшениці сорту Скаген $\Delta REP = 722.15 \text{ нм} - 720.81 \text{ нм} = 1.34 \text{ нм}$, і решта ВІ, окрім допоміжного індексу SR, на 2-му полі мають більші значення, ніж ВІ першого поля зі сортом Скаген.

Отже, на основі обробки даних космознімка Sentinel-2 і за результатами, одержаними за даними спектрорадіометра ASD FieldSpec® 3FR на дату 08.04.2016 р. у фазу кушіння рослини сорту Богдана демонструють кращі фотосинтетичні показники, ніж рослини сорту Скаген.

На наступну дату польових виїздів (28.04.2016 р.) спостерігаємо вже інший стан рослинного покриву (див. табл. 4, 5). ВІ за даними Sentinel-2 для озимої пшениці сорту Скаген на 1-ому полі більші як за середніми значеннями ВІ, так і за значеннями ВІ, порахованими в точці спектрометрування, ніж на 2-му полі, де зростала пшениця сорту Богдана і $\Delta REP_{середнє} = 726.0 \text{ нм} - 724.48 \text{ нм} = 1.52 \text{ нм}$. Тобто, у вегетаційну фазу початок виходу в трубку (2-ге міжвузля) пшениця сорту Скаген демонструє кращі спектральні характеристики, ніж сорт Богдана.

Таблиця 2.

Значення вегетаційних індексів, обчислених за даними Sentinel-2A, для посівів ОП від 08.04.2016 р.

№ поля, сорт озимої пшениці	Значення ВІ (за координатами і середні значення ВІ)									
	REP <i>нм</i>	MTCI	NDRE1	ND RE2	CI _{rededge}	CI _{green}	NDVI	ZM	SR	DRI _{CI}
1, Скаген	726.60	4.364	0.283	0.355	1.099	1.083	0.345	1.789	0.450	2.441
	<u>722.80</u>	<u>3.695</u>	<u>0.256</u>	<u>0.328</u>	<u>0.986</u>	<u>1.061</u>	<u>0.351</u>	<u>1.690</u>	<u>0.428</u>	<u>2.317</u>
2, Богдана	724.10	3.668	0.268	0.351	1.081	1.191	0.368	1.732	0.398	2.642
	<u>723.28</u>	<u>3.641</u>	<u>0.267</u>	<u>0.344</u>	<u>1.046</u>	<u>1.173</u>	<u>0.369</u>	<u>1.728</u>	<u>0.407</u>	<u>2.580</u>

Таблиця 3.

Значення вегетаційних індексів, обчислених за польовими спектрометричними даними для посівів ОП від 08.04.2016 р.

№ поля, сорт озимої пшениці	Значення BI за координатами									
	REP _{HM}	MTCI	NDRE1	NDRE2	CI _{rededge}	CI _{green}	NDVI	ZM	SR	DRI _{CI}
1, Скаген	720.81	3.031	0.509	0.567	2.617	4.182	0.814	2.714	0.084	31.227
2, Богдана	722.15	3.567	0.564	0.627	3.365	5.359	0.859	3.126	0.060	55.864

Таблиця 4.

Значення вегетаційних індексів, обчислених за даними Sentinel-2A, для посівів ОП від 28.04.2016 р.

№ поля, сорт озимої пшениці	Значення BI (за координатами і середні значення BI)									
	REP _{HM}	MTCI	NDRE1	NDRE2	CI _{rededge}	CI _{green}	NDVI	ZM	SR	DRI _{CI}
1, Скаген	726.65	6.064	0.592	0.623	3.362	3.430	0.675	3.245	0.161	20.936
	726.00	5.313	5.515	0.613	3.181	3.330	0.680	3.132	0.148	22.255
2, Богдана	725.91	4.333	0.479	0.584	2.804	3.056	0.663	2.838	0.166	18.620
	724.48	4.575	0.493	0.584	2.813	3.011	0.674	2.949	0.156	18.271

Таблиця 5.

Значення вегетаційних індексів, обчислених за польовими спектрометричними даними для посівів ОП від 28.04.2016 р.

№ поля, сорт озимої пшениці	Значення BI за координатами									
	REP _{HM}	MTCI	NDRE1	NDRE2	CI _{rededge}	CI _{green}	NDVI	ZM	SR	DRI _{CI}
1, Скаген	724.67	4.577	0.608	0.683	4.307	6.734	0.854	3.723	0.059	72.653
2, Богдана	722.69	3.674	0.556	0.623	3.310	5.221	0.834	3.140	0.072	46.262

Таблиця 6.

Значення вегетаційних індексів, обчислених за польовими спектрометричними даними для посівів ОП від 10.05.2016 р.

№ поля, сорт озимої пшениці	Значення BI за координатами									
	REP _{HM}	MTCI	NDRE1	NDRE2	CI _{rededge}	CI _{green}	NDVI	ZM	SR	DRI _{CI}
1, Скаген	727.38	5.752	0.698	0.776	6.937	11.030	0.932	5.010	0.024	290.84
2, Богдана	724.88	4.502	0.616	0.692	4.499	6.709	0.872	3.765	0.051	88.870

Таблиця 7.

Значення вегетаційних індексів, обчислених за даними Sentinel-2A, для посівів ОП від 17.06.2016 р.

№ поля, сорт озимої пшениці	Значення BI (за координатами і середні значення BI)									
	REP _{HM}	MTCI	NDRE1	NDRE2	CI _{rededge}	CI _{green}	NDVI	ZM	SR	DRI _{CI}
1, Скаген	729.25	5.768	0.512	0.605	2.885	2.895	0.659	3.096	0.158	19.451
	729.24	5.539	0.491	0.592	2.932	2.954	0.644	2.981	0.165	18.279
2, Богдана	724.07	3.253	0.326	0.409	1.388	1.561	0.474	1.968	0.300	4.678
	724.06	3.270	0.324	0.405	1.362	1.576	0.470	1.961	0.300	4.582

Таблиця 8.

Значення вегетаційних індексів, обчислених за польовими спектрометричними даними для посівів ОП від 17.06.2016 р.

№ поля, сорт озимої пшениці	Значення BI за координатами									
	REP _{нм}	MTCI	NDRE1	NDRE2	CI _{rededge}	CI _{green}	NDVI	ZM	SR	DRI _{CI}
1, Скаген	729.14	4.668	0.609	0.719	5.117	8.063	0.851	4.067	0.050	101.42
2, Богдана	720.54	2.182	0.407	0.486	1.894	3.338	0.728	2.248	0.117	16.190

Для BI, порахованих в точках спектрометрування для поля 1 і поля 2, маємо значення для поля 1 із сортом Скаген більші, ніж для поля 2 із сортом Богдана, $\Delta REP = 726.65 \text{ нм} - 725.91 \text{ нм} = 0.74 \text{ нм}$.

Те ж саме характерне й для BI, порахованих за даними наземного спектрометрування на цю ж дату 28.04.2016 р. Для пшениці сорту Богдана значення REP стають меншими, ніж у пшениці сорту Скаген $\Delta REP = 724.67 \text{ нм} - 722.69 \text{ нм} = 1.98 \text{ нм}$. Та й решта BI (окрім допоміжного індексу SR) для сорту Богдана мають менші значення у порівнянні з ОП сорту Скаген. Отже, за спектральними показниками, а точніше за вегетаційними індексами, розрахованими на дату 28.04.2016 р. у фазі початок виходу в трубку (2-ге міжвузля) за даними обробки космознімка Sentinel-2A і за результатами, одержаними зі спектрорадіометра ASD FieldSpec® 3FR, спостерігається інверсія стану посівів двох сортів озимої пшениці: озима пшениця Богдана демонструє гірші параметри, ніж озима пшениця сорту Скаген.

Як зазначалось в розділі **Методика**, під час обстеження 10 травня 2016 р. було помічено симптоми ураження рослин сорту Богдана грибковими захворюваннями (фузаріоз, септоріоз), що проявлялось у великій кількості дрібних хлорозних плям на листках (див. рис. 4). Звісно, такий стан рослин супроводжувався зменшенням вмісту хлорофілу в рослинному покриві, що, ймовірно, і спричинило інверсію стану посівів. На жаль, ні біохімічне визначення вмісту хлорофілу, ні спеціальна оцінка фітосанітарного стану агроценозів не проводились за відсутності в ЦАКДЗ спеціального обладнання і дипломованих фітопатологів. Проте прикметно, що і наземні, і космічні прилади дистанційного зондування відреагували на цей факт ураження рослин збудниками грибкових захворювань, зафіксувавши відмінності у стані посівів ще напередодні 10 травня.

На 10.05.2016 р., фаза вегетації — вихід в трубку, здійснювалось тільки наземне спектрометрування посівів, оскільки, як зазначалось вище, знімка Sentinel-2 на цю дату не виявилось. За результатами обробки даних спектрорадіометра ASD FieldSpec® 3FR у пшениці сорту Скаген значення REP залишаються вищими, ніж у пшениці сорту Богдана на 2-му полі $\Delta REP = 727.38 \text{ нм} - 724.88 \text{ нм} = 2.34 \text{ нм}$ і решта BI проявляють таку ж тенденцію: у сорту Скаген вони мають більші значення, ніж у сорту Богдана (табл. 6).

В табл.7 на дату 17.06.2016 р. (фаза вегетації — молочна стиглість) пораховані BI за даними космознімка Sentinel-2A для ОП сорту Скаген більші як за середніми значеннями, так і за значеннями BI, обчисленими для точки з заданими координатами, у порівнянні з другим полем, де зростала пшениця сорту Богдана. $\Delta REP_{\text{середнє}} = 729.24 \text{ нм} - 724.06 \text{ нм} = 5.18 \text{ нм}$. Тобто, у фазу молочної стиглості пшениця сорту Скаген продовжує демонструвати кращий фотосинтетичний потенціал, ніж пшениця сорту Богдана. Для BI, порахованих за супутниковими даними в заданих точках обох полів маємо значення для поля 1 з сортом Скаген більші, ніж для поля 2 зі сортом Богдана, $\Delta REP = 729.25 \text{ нм} - 724.07 \text{ нм} = 5.18 \text{ нм}$.

Подібне зберігається і для BI за даними наземного спектрометрування на цю ж дату 17.06.2016 р. (табл. 8). Зокрема, значення REP для пшениці сорту Богдана менші, ніж у пшениці сорту Скаген: $\Delta REP = 729.14 \text{ нм} - 720.54 \text{ нм} = 8.60 \text{ нм}$, і решта BI для сорту Богдана менші, ніж BI сорту Скаген. Отже у фазу молочної стиглості BI, обчислені як за даними обробки космознімка Sentinel-2, так і спектрорадіометра ASD FieldSpec® 3FR, свідчать, що сорт Богдана має нижчі фотосинтетичні параметри, ніж сорт Скаген.

Далі приводимо на рис. 5 графіки зіставлення досліджених індексів, одержаних за супутниковими і наземними дистанційними даними для тестових ділянок полів 1 і 2 з озимою пшеницею сортів Скаген і Богдана впродовж весняно-літньої вегетації.

Наочно видно з рис. 5, що у фазу кушіння серед досліджених індексів лише NDRE1 та NDRE2 майже однакові за супутниковими і за спектрорадіометричними даними для обох сортів. Інші індекси відрізняються між собою, причому більші відмінності між фактичними значеннями індексів характерні для посіву ОП сорту Богдана (лінії графіків не суміщаються), де значення всіх індексів майже вдвічі більші, ніж для ОП сорту Скаген (звертаємо увагу на умовні одиниці вертикальної осі). На початку виходу в трубку (поява другого міжвузля) різниця між величинами BI, розрахованими за даними Sentinel-2A і ASD FieldSpec® 3FR майже зникає, лише для CI_{green} та DRI_{CI} зберігається виявлена ще у попередній фазі незбіжність їх показників. Можливою причиною цих відмінностей може бути зазначена вище різниця у ширині обраних каналів, що вико-

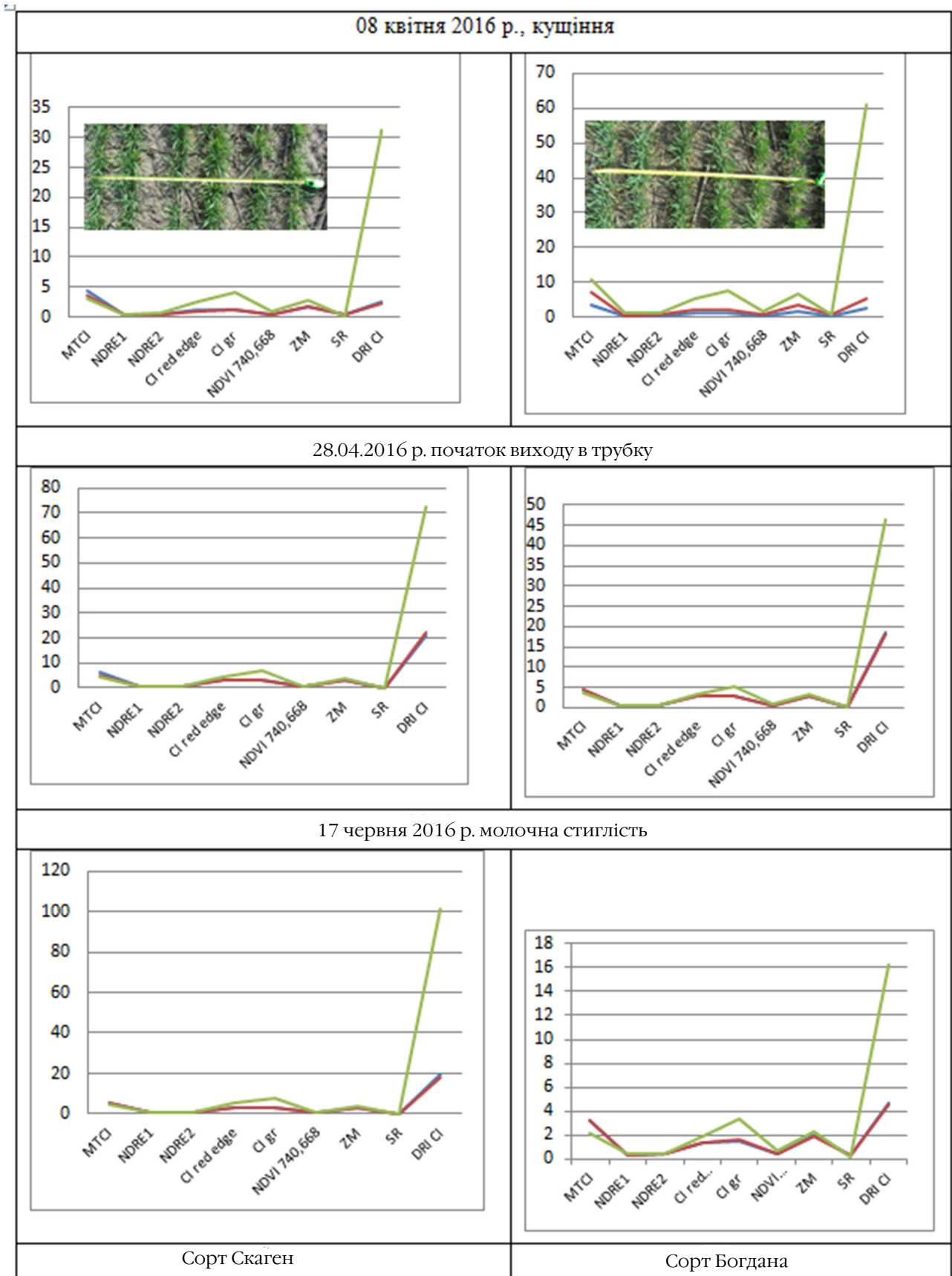


Рис 5. Зіставлення ВІ для ділянок виробничих посівів озимої пшениці сортів Скаген (лівий стовбець) та Богдана (правий стовбець), обчислених за даними Sentinel-2 (червона лінія — в точці спектрометрування, синя — середнє значення для площі 10 × 10 пікселів) та за даними спектрорадіометра ASD FieldSpec®3FR (зелена лінія). На осі ординат — значення індексів в умовних одиницях

ристовуються при обчисленні індексів. Причому останній індекс, розрахований за даними ASD FieldSpec® 3FR, різко реагує на стан посіву: на тестових ділянках зі сортом ОП Богдана він у півтора рази нижчий, ніж у сорту Скаген. Сказане справедливе і для BI, обчислених у фазу молочної стиглості. Це пояснюється передусім зростанням проективного покриття посівів впродовж весняно-літньої вегетації, що зумовлює елімінацію негативного вкладу відбиття ґрунту міжрядь у формування спектрального сигналу відбиття посівів, зафіксованого у фазу кушіння. Водночас в процесі дозрівання посіву ОП сорту Богдана проявляється негативний вплив ураження рослин збудниками грибкових захворювань, що спричиняє значно нижчі величини їх BI у порівнянні зі сортом Скаген.

За отриманими супутниковими та спектрометричними значеннями BI були пораховані коефіцієнти кореляції між ними за формулою Пірсона [www.stat.wmich.edu/s216/book/node122/html] для всіх 10-ти індексів для тестових ділянок кожного поля з різними сортами озимої пшениці. Ці результати приведені в табл.9, де в лівій частині під назвою “Джерело даних” Sentinel GPS означає обчислення супутникових BI в точці спектрометрування, а Sentinel Average — обчислення середніх значень супутникових BI для площі 10 × 10 пікселів, тобто 1 га.

Окрім того, було розраховано середні похибки коефіцієнтів кореляції для невеликої кількості даних $n = 10$, які представлені в табл. 10.

Згідно з приведеними даними в табл. 9, кореляція на дату 08.04.2016 р. (кушіння) дуже слабка, а якщо взяти до уваги середню похибку коефіцієнтів кореляції $\varepsilon_{\text{ср}} \approx 0.32$ на цю дату за даними табл. 10, то кореляція

взагалі відсутня. На дату 28.04.2016 р. (початок виходу в трубку) кореляція між значеннями BI за супутниковими і спектрометричними даними для тестових ділянок поля 1 і поля 2 з озимою пшеницею сортів Скаген і Богдана висока. Середнє значення похибки коефіцієнтів кореляції на цю дату становить $\varepsilon_{\text{ср}} \approx 0.08$. Тобто, маємо згідно [1] сильну кореляцію на цю дату вимірювання. У фазі молочної стиглості (17.06.2016 р.) кореляція теж висока і середнє значення похибки коефіцієнтів кореляції на цю дату $\varepsilon_{\text{ср}} \approx 0.14$.

Висновки

1. Розбіжності між BI, розрахованими за даними Sentinel-2 та ASD FieldSpec® 3FR, залежать від фази розвитку рослин озимої пшениці: впродовж вегетації коефіцієнти кореляції між ними зростають для посівів обох досліджених сортів.

2. Значення більшості досліджених BI за супутниковими даними Sentinel близькі за величиною до аналогічних індексів, обчислених за вузькими спектральними каналами ASD FieldSpec® 3FR, за винятком DRI_{Cl} (Double ratio index for chlorophyll index) та CI_{green} (ratio green chlorophyll index).

3. Досліджені індекси демонструють різну поведінку в залежності від стану рослинного покриву, що дозволяє рекомендувати їх у подальшому для застосування при вивченні продуктивності виробничих посівів озимої пшениці, і, вірогідно, інших сільськогосподарських культур.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом N Ф64/25-2016.

Таблиця 9.

Коефіцієнти кореляції між значеннями BI з ASD FieldSpec® 3FR і Sentinel-2A для тестових ділянок полів 1 і 2 зі сортами ОП Скаген і Богдана впродовж весняно-літньої вегетації

Сорт озимої пшениці	Дата, фаза вегетації	08 квітня 2016 р., кушіння		28 квітня 2016 початок виходу в трубку		17 червня 2016 р., молочна стиглість	
	Джерело даних	Sentinel GPS	Sentinel Average	Sentinel GPS	Sentinel Average	Sentinel GPS	Sentinel Average
Скаген	FieldSpec	0.38	0.43	0.97	0.98	0.97	0.97
Богдана	FieldSpec	0.48	0.47	0.98	0.98	0.85	0.84

Таблиця 10.

Середні похибки коефіцієнтів кореляції між значеннями BI з ASD FieldSpec® 3FR і Sentinel-2A для тестових ділянок полів 1 і 2 зі сортами ОП Скаген і Богдана

Сорт	Дата, фаза вегетації	08.04.2016 р. кущіння		28.04.2016 р. початок виходу в трубку		17.06.2016 р. молочна стиглість	
	Джерело даних	Sentinel GPS	Sentinel Average	Sentinel GPS	Sentinel Average	Sentinel GPS	Sentinel Average
Скаген	FieldSpec	0.33	0.32	0.09	0.07	0.09	0.09
Богдана	FieldSpec	0.31	0.31	0.07	0.07	0.19	0.19

Література

1. Иванова В. М. Математическая статистика / В. М. Иванова, В. Н. Калинина, Л. А. Нешумова. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1981. — 368 с.
2. Clevers J. G. P. W. Using the red-edge bands on Sentinel-2 for retrieving canopy chlorophyll nitrogen content. / J. G. P. W. Clevers, A. A. Gitelson // First Sentinel-2: Preparatory symposium, 23–27 April 2012, ESRIN, Frascati, Italy. — V.707. — 2012. — P. 8.
3. Dash J. The MERIS terrestrial chlorophyll index / J. Dash, P. J. Curant // International Journal of Remote Sensing. — 2005. — V.25. — P. 5403–5413.
4. Dotzler S. The Potential of EnMAP and Sentinel-2 Data for Detecting Drought Stress Phenomena in Deciduous Forest Communities / S. Dotzler, J. Hill, H. Buddenbaum [et al.] // J. Stoffels // Remote Sens. — 2015. — № 7 — P. 14227–14258.
5. Filella I. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass potential for land applications / I. Filella, J. Peñuelas // International Journal of Remote Sensing. — 1994. — V.15. — № 7. — P. 1459–1470.
6. Herrmann I. LAI assessment of wheat and potato crops by VENUS and Sentinel-2 bands / I. Herrmann, A. Pimstein, A. Karnieli [et al.] // Remote Sensing of Environment. — 2011. — V. 115. — № 8. — P. 2141–2151.
7. Immitzer M. First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe / M. Immitzer, F. Vuolo, C. Atzberger // Remote Sensing. — 2016. — V.8. — № 3. — P. 1–27 p.
8. Legal notice on the use of Copernicus Sentinel Data and Service Information [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/690755/Sentinel_Data_Legal_Notice. — Назва з екрану.
9. Radoux J. Sentinel-2's Potential for Sub-Pixel Landscape Feature Detection / J. Radoux, G. Chomé, D. Jacques [et al.] // Remote Sensing. — 2016. — Vol.8. — № 6. — P. 488–516.
10. SENTINEL-2 User Handbook [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook. — Назва з екрану.
11. Smith K. L. Use of hyperspectral derivative ratios in the red-edge region to identify plant stress responses to gas leak / K. L. Smith, M. D. Steven, J. J. Colls // Remote Sensing of Environment. — 2004. — V.92. — № 2. — P. 207–217.
12. Zarco-Tejada P. J. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulating in a row-structured discontinuous canopy / P. J. Zarco-Tejada, A. Berjon, R. Lopez-Lorano [et al.] // Remote Sensing of Environment. — 2005. — V.99. — №3. — P. 271–284.

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, РАССЧИТАННЫХ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ДАННЫМ СПУТНИКА SENTINEL-2 И СПЕКТРОРАДИОМЕТРА FIELDSPEC

В. И. Лялько, А. И. Сахацкий, Г. М. Жолобак, О. Н. Сибирцева, С. С. Дугин, М. В. Ваколюк

Исследовано десять вегетационных индексов (ВИ), рассчитанных одновременно как по спутниковым данным Sentinel-2, так и по результатам наземного спектрометрирования прибором ASD FieldSpec® 3FR, для тождественных по географическим координатам участков производственных посевов озимой пшеницы двух сортов Богдана и Скаген. Выявлено, что значение большинства исследованных ВИ по спутниковым данным Sentinel-2 имеет величину, близкую аналогичным индексам, вычисленным по узким спектральным каналам ASD FieldSpec® 3FR, за исключением DRI_{cl} (Double ratio index for chlorophyll index) и CI_{green} (ratio green chlorophyll index), значения которых по спутниковым каналам значительно ниже, чем по показателям спектрорадиометра. Продемонстрировано, что различия ВИ по Sentinel-2 и ASD FieldSpec® 3FR зависят от фазы развития растений озимой пшеницы: в течение вегетации коэффициенты корреляции между ними возрастают для посевов двух исследованных сортов.

Ключевые слова: вегетационные индексы, Sentinel-2, наземная спектрометрическая съемка, производственные посевы озимой пшеницы

ANALYSIS AND COMPARISON OF VEGETATION INDICES OF WINTER WHEAT CROP AREAS, CALCULATED ON THE BASIS OF SENTINEL-2 AND FIELDSPec SPECTRORADIOMETER DATA

V. I. Lyalko, O. I. Sakhatsky, G. M. Zholobak, O. M. Sybirtseva, S. S. Dugin, M. V. Vakolyuk

Ten vegetation indices (VIs) were analyzed, which were calculated simultaneously based on Sentinel-2 data and on results of ground spectrometric survey by ASD FieldSpec® 3FR for the identically geographical sites of the production crops of winter wheat of two cultivars Bohdana and Skagen. The values of the most studied VIs on Sentinel-2 satellite data are similar by quantity to the same indices, calculated on the narrow spectral channels of ASD FieldSpec® 3FR, except for DRI_{cl} (Double ratio index for chlorophyll index) and CI_{green} (ratio green chlorophyll index), the satellite values of which are much lower than those received by spectroradiometer. It was shown that the differences of VIs received by Sentinel-2 and ASD FieldSpec® 3FR depend on the growth stages of winter wheat: during vegetation season the correlation coefficients between them increase for crop areas of both studied cultivars.

Key words: vegetation indices, Sentinel-2, ground spectrometric survey, production crops of winter wheat

УДК 528.854: 551.584.5

Використання даних дистанційного зондування Землі для з'ясування термічних особливостей Українських Карпат

В. І. Вишневський*, С. А. Шевчук

Інститут водних ресурсів і меліорації НААН, Київ, Україна

Показана можливість використання даних ДЗЗ для з'ясування термічних особливостей Українських Карпат. Встановлено, що найбільш низька температура земної поверхні спостерігається не на вершинах гір, а на їх північних і північно-західних схилах.

Ключові слова: температура земної поверхні, Українські Карпати, дистанційне зондування

© В. І. Вишневський, С. А. Шевчук. 2017

Вступ

Українські Карпати — особливий регіон країни, який з кожним роком привертає все більшу увагу, зокрема в туристичній сфері. Разом з тим, вивченість його кліматичних особливостей залишається порівняно незначною, що насамперед зумовлено невеликою кількістю наявних тут метеостанцій. Гірськими з них можна вважати лише дві: Плай і у Закарпатській області та Пожежевська в Івано-Франківський. До того ж, ці та інші метеостанції розташовані порівняно низько — на висоті нижче 1 500 м, хоча висота найвищих гір перевищує 2 000 м.

Метою цієї праці є встановлення термічних особливостей Українських Карпат — насамперед гірських вершин. Основним інструментом досліджень стали ресурси дистанційного зондування Землі. Крім того, використано дані спостережень на наявних у регіоні метеостанціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найвагомішою науковою працею, що присвячена клімату Українських Карпат, зокрема їх термічному режиму, є монографічне видання “Тепловой и водный режим Украинских Карпат” [2], що побачила світ у 1985 р. У цій праці наведено відомості про температуру повітря на наявних у регіоні метеостанціях, оцінено її зміни з висотою. Водночас у праці немає жодних відомостей про температуру на гірських вершинах.

З інших публікацій, які стосуються термічних особливостей Українських Карпат, може бути згадана стаття [1], в якій надано результати вимірювання температури на схилі кількох гір.

У більшості випадків дослідження термічного режиму Українських Карпат ґрунтуються на дані спостережень наявних у регіоні метеостанцій. Вочевидь, це не дає змоги встановити термічні особливості гір у цілому.

Останнім часом, крім можливостей безпосереднього виміру температури, з'явилися нові, а саме — з використанням даних дистанційного зондування Землі. Значної популярності набули, зокрема, дослідження, в яких використано дані супутників серії Landsat. Разом з тим, відповідні дослідження Карпат досі не виконувалися.

Методи досліджень

Основним джерелом даних про температуру земної поверхні в межах Українських Карпат стали знімки супутника Landsat 8, що був запущений на початку 2013 р. Досліджуваний регіон потрапляє на знімки серії LC8185026. Центр знімків має координати 48°51'58" пн. ш. і 24°00'20" сх. д. Періодичність знімання цієї місцевості становить 16 діб. Воно здійснюється о 9:14 за Всесвітнім часом, що за Київським часом відповідає 11:14 узимку і 12:14 улітку.

Зазначений супутник обладнаний кількома сенсорами, два з яких (канали B10 і B11), здатні реєструвати інфрачервоне випромінювання. Просторове розрізнення отримуваних зображень (розмір пікселя) становить 100 м. Крім того, встановлена на супутнику апаратура дає змогу робити знімки ще в кількох діапазонах випромінювання зі значно кращим просторовим розрізненням.

Результати досліджень [3, 4], виконані, зокрема, авторами цієї статті, показали, що в цілому точнішим є визначення температури земної поверхні за даними каналу B10. У зв'язку з цим, відповідно до настанов [6] щодо використання даних супутника Landsat 8, температура земної поверхні визначалася за формулою:

$$T = (1321.08 / (\ln((774.89 / ((B10.TIF^{0.0003342} + 0.1)) + 1))) - 273.15.$$

Опрацювання відповідних даних та їх картографічне відображення виконувалися з використанням програми ArcMap 10.

* E-mail: vishnev@voliacable.com

Для побудови об'ємних зображень Українських Карпат використано програму Global Mapper.

Висвітлення основних результатів

Українські Карпати є порівняно невеликою частиною Карпат, більша частина яких розташована в межах Словаччини та Румунії. Характерна особливість цих гір у межах України — наявність доволі значної кількості майже паралельних гірських хребтів, що тягнуться з північного заходу на південний схід. Це відповідає розташуванню Українських Карпат у цілому (рис. 1).

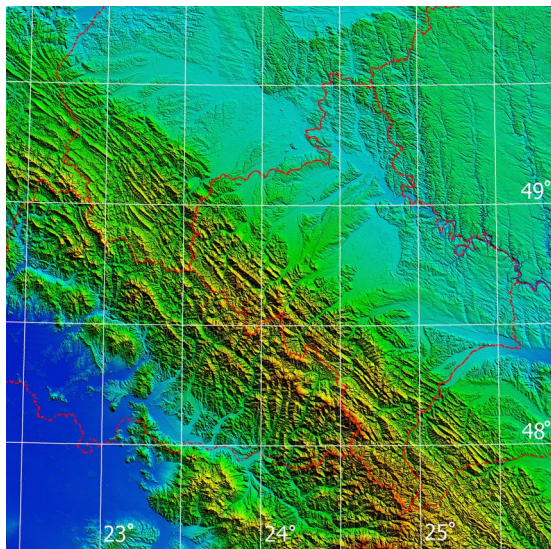


Рис. 1. Об'ємне зображення Українських Карпат

Найвища вершина Українських Карпат — гора Говерла, що має висоту 2 061 м. Крім цієї гори, тут є ще кілька вершин висотою понад 2 000 м. Усі вони тяжіють до гірського масиву Чорногора, який в Українських Карпатах найвищий. З гір висотою понад 1 900 м лише одна, а саме Піп Іван Мармароський розташована окремо — у Мармароському гірському масиві на кордоні України та Румунії (табл. 1, рис. 2).

Зауважимо, що висота кількох з перелічених гір у

Таблиця 1.

Найвищі вершини Українських Карпат

Назва	Висота, м	Широта, пн.	Довгота, сх.
Говерла	2 061	48°09'37"	24°30'00"
Бребенскул	2 036	48°05'54"	24°34'50"
Піп Іван Чорногірський	2 028	48°02'52"	24°37'40"
Петрос	2 022	48°10'19"	24°25'16"
Гутин Томнатик	2 016	48°06'00"	24°33'24"
Ребра	2 001	48°06'40"	24°33'30"
Менчул	1 998	48°05'30"	24°35'45"
Піп Іван Мармароський	1 936	47°55'35"	24°19'30"
Туркул	1 933	48°07'26"	24°31'52"
Брескул	1 911	48°09'04"	24°30'43"

різних джерелах подається з невеликими відмінностями. Зокрема висота г. Бребенскул за різними джерелами перебуває в межах 2 032–2 038 м, гори Петрос — 2 020–2 022 м. Ці відмінності принципового значення не мають. Важливішими є відмінності в координатах вершин. Їх уточнення здійснено з використанням супутникових знімків, зокрема, за даними про температуру земної поверхні. Детальніше про це сказано нижче.

У зазначеному регіоні нині функціонують близько 10 метеостанцій. Метеостанція Плай, висота метеорологічного майданчика якої становить 1 330 м, розташована на південно-західному макросхилі

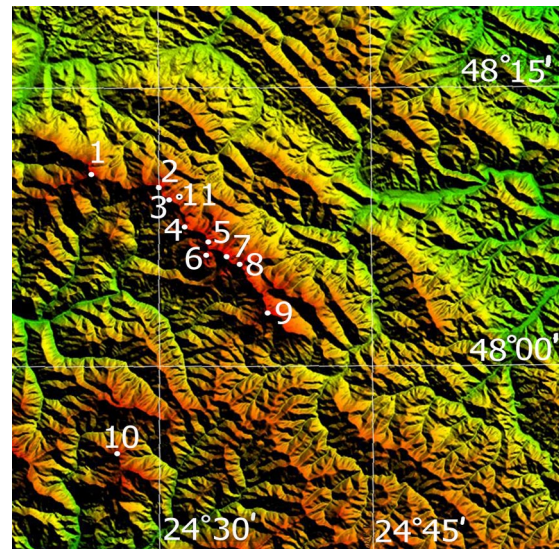


Рис. 2. Розташування найвищих гір та метеостанції Пожежевська: 1 – Петрос, 2 – Говерла, 3 – Брескул (Брецул), 4 – Туркул, 5 – Ребра, 6 – Гутин Томнатик, 7 – Бребенскул, 8 – Менчул, 9 – Піп Іван Чорногорський, 10 – Піп Іван Мармароський, 11 – метеостанція Пожежевська

Карпат. Інша метеостанція — Пожежевська — функціонує на північно-східному макросхилі неподалік г. Говерла. Висота метеорологічного майданчика цієї станції — 1 451 м. Відомості про розташування наявних метеостанцій та дані про середню багаторічну температуру повітря протягом періоду 1981–2010 рр. наведено в табл. 2.

За даними табл. 2, можна оцінити зниження температури повітря з висотою. З огляду на розташування метеостанцій на двох протилежно орієнтованих макросхилах доцільно виконати цей аналіз окремо: для північно-східного і південно-західного макросхилів (рис. 3).

Як видно на рис. 3, середньорічна температура повітря у висотному діапазоні розташування метеостанцій (до 1 451 м) знижується на 0.4–0.5°C на кожні 100 м висоти. Разом з тим, наявні дані не дають змогу встановити те, яким є зниження температури на більшій висоті та якою є температура на гірських вершинах.

Таблиця 2.

Метеостанції, розташовані в Карпатському регіоні

Назва	Висота, м	Широта	Довгота	Середня температура, °C
Турка	594	49° 09' 01"	23° 01' 47"	6.4
Славське	592	48° 50' 31"	23° 26' 57"	5.9
Яремча	531	48° 27' 10"	24° 33' 12"	7.4
Пожежевська	1451	48° 09' 15"	24° 32' 03"	2.9
Селятин	762	47° 52' 35"	25° 12' 59"	5.1
Нижні Ворота	496	48° 46' 30"	23° 05' 52"	7.1
Нижній Студений	615	48° 42' 04"	23° 21' 57"	5.8
Плай	1330	48° 40' 03"	23° 11' 53"	3.0
Микит'я	456	48° 31' 36"	23° 30' 16"	7.2
Равів	430	48° 02' 51"	24° 11' 53"	7.8

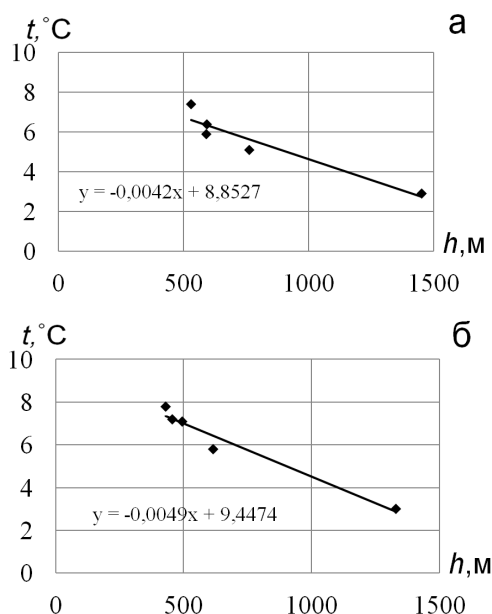


Рис. 3. Залежності середньої багаторічної температури повітря від висоти місцевості за даними метеостанцій, розташованих в Українських Карпатах:

а — на північно-східному, б — на південно-західному макросхилі

Для вирішення цих питань було проаналізовано низку зображень, виконаних супутником Landsat 8. Хоча гарних зображень цієї місцевості через значну хмарність порівняно небагато, тим не менш, навіть кілька опрацьованих зображень дають змогу встановити найважливіші закономірності.

Для початку розглянемо умови, які спостерігаються взимку. Для цих умов показовим є знімок, зроблений 13 лютого 2015 р. Результати його обробки, що виконана з використанням програми ArcMap 10, подано на рис. 4.

Як видно на рис. 4, температура земної поверхні у дослідженому регіоні істотно залежить від висоти місцевості. Найнижча температура властива для найвищого гірського масиву Чорно-

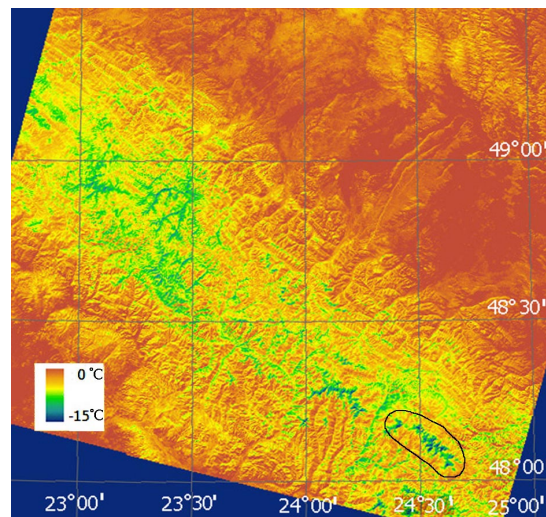


Рис. 4. Температура земної поверхні Українських Карпат за даними знімка, виконаного 13 лютого 2015 р. (чорною лінією виділено гірський масив Чорногора)

гора. Порівняно низька температура характерна також для гірського масиву Свидівець (Свидовець), що трохи нижчий і розташований на північний захід. Доволі низкою є також температура на орієнтованих на північ схилах річкових долин у північній частині Прикарпаття. Це, зокрема, властиве для річок Дністер і Стрий. Найвища ж температура, як видно на рисунку, спостерігається за межами гір.

Детальний аналіз супутникових зображень свідчить про те, що найнижча температура земної поверхні спостерігається не на вершинах гір, а на їх північних і північно-західних схилах. Зокрема 13.02.2015 на час виконання знімку температура на вершині Говерли становила мінус 12.5°C. Водночас на її північно-західному схилі найнижче значення становило — мінус 15.8°C. При цьому на південно-східному схилі спостерігалось мінус 4.0°C.

Те, що найнижча температура земної поверхні не відповідає вершині гір, добре видно на супутникових зображеннях у збільшеному масштабі (рис. 5 і рис. 6).

Основним чинником таких значних відмінностей є істотно різне нагрівання схилів Сонцем. Вочевидь, що південно-східні схили гір за ранішній час встигають прогрітись значно краще за північні та північно-західні.

Найнижча температура земної поверхні (мінус 16.3°C) у межах масиву Чорногора 13 лютого 2015 р. виявилася у точці з координатами 48°06'03" пн. ш. і 24°33'14" сх. д. Це місце знаходиться за кілька десятків метрів на північний захід від вершини гори Гутин Томнатик.

Аналіз космічних знімків, виконаних у холодну пору року, показує, що дуже часто в Українських Карпатах лежить сніговий покрив. Інколи він фор-

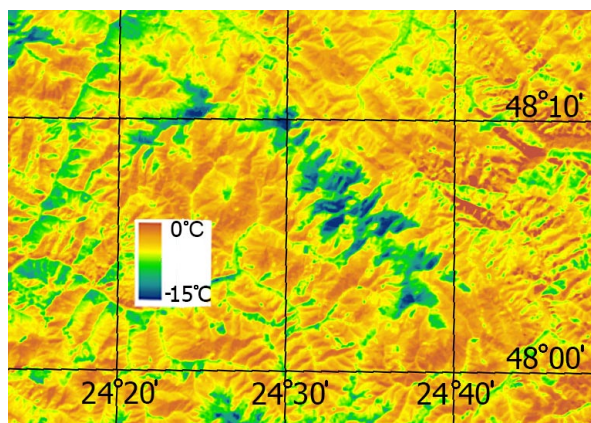


Рис. 5. Температура земної поверхні гірського масиву Чорногора за даними космічного знімка, виконаного 13 лютого 2015 р.

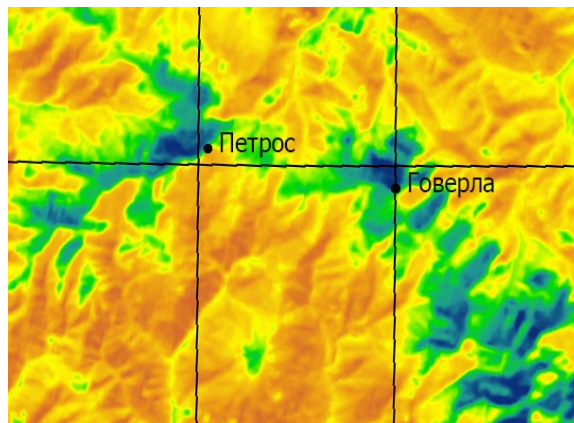


Рис. 6. Термічні особливості земної поверхні біля гір Петрос і Говерла за даними знімка, виконаного 13 лютого 2015 р.

мується ще в жовтні. Це, зокрема, добре видно на знімку за 5.10.13. Наявність снігу простежується і на знімку за 27.10.15 — передусім у межах Чорногори та Свидівця. Саме ці два гірські пасва найчастіше відкриті снігом.

Розглянемо тепер термічні особливості Українських Карпат у літніх умовах. На знімку, зробленому 5 червня 2015 р., видно, що і цього разу температура земної поверхні істотно залежить від висоти — у горах вона на приблизно на 10°C нижча, ніж у передгір'ях. На цьому знімку в зоні, яка відповідає Прикарпаттю, простежуються невеличкі зони з низькою температурою, які відповідають хмарам (рис. 7).

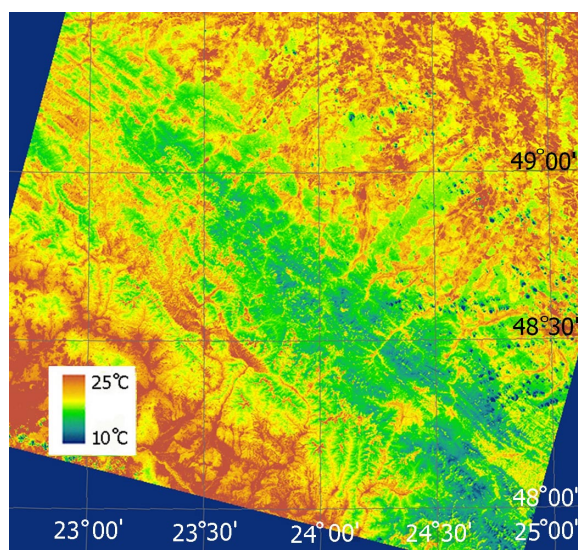


Рис. 7. Температура земної поверхні Українських Карпат за даними знімка, виконаного 5 червня 2015 р.

Як і попередньому випадку, найнижчу температуру зафіксовано не на вершинах гір, а на їх північних та північно-західних схилах. Водночас істотно вищою є температура на південно-східних схилах (рис. 8 і рис. 9).

За супутниковими даними, температура земної поверхні на вершині Говерли 5.06.2016 в момент виконання знімка становила 15.3°C. Водночас в улоговині, розташованій за кількесот метрів на північний захід (координати: 49° 09' 49" пн. ш. і 24° 29' 35" сх. д.), вона становила лише 11.2°C. У цей же час на південно-східному схилі гори (48° 09' 39" пн. ш. і 24° 30' 39" сх. д.) температура сягала 22.0°C.

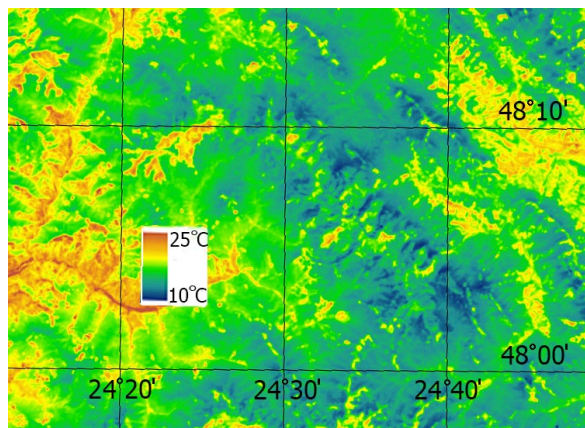


Рис. 8. Температура земної поверхні гірського масиву Чорногора за даними знімка, виконаного 5 червня 2015 р.

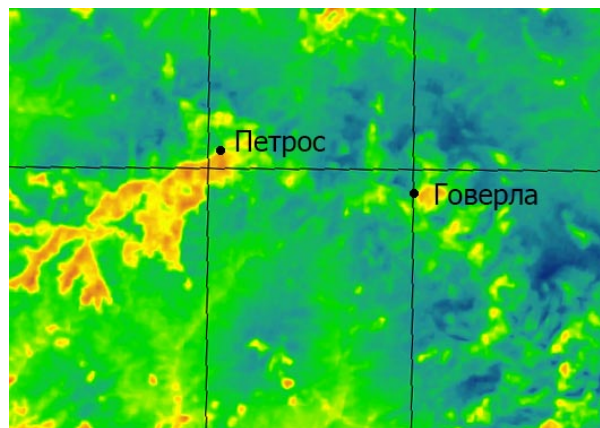


Рис. 9. Термічні особливості земної поверхні біля гір Петрос і Говерла за даними знімка, виконаного 5 червня 2015 р.

Цього разу найнижча температура в межах гірського масиву Чорногора (10.2°C) зафіксована в улоговині, розташованій на північний захід від гір Шпиці та Гомул у точці з координатами $48^{\circ}08'21''$ пн. ш. і $24^{\circ}33'23''$ сх. д.

Подібні результати отримано і для іншого випадку з гарною якістю космічного знімка, а саме за 8.08.2015. На час виконання зйомки найнижча температура земної поверхні (16.2°C) на схилі Говерли зафіксована в точці з координатами $48^{\circ}09'49''$ пн. ш. і $24^{\circ}29'37''$ сх. д. Водночас на протилежному схилі гори, орієнтованому на південний схід (координати $48^{\circ}09'39''$ пн. ш. і $24^{\circ}30'40''$ сх. д.), зафіксовано 29.8°C . Як видно, в обох випадках (5.06.15 і 8.08.15) точки з найвищою та найнижчою температурою майже збіглися.

Отриману закономірність — зниження температури на захищеному від Сонця схилі — використано для уточнення розташування деяких гірських вершин. Зокрема у наявних джерелах координати г. Петрос подані з деякою розбіжністю: $48^{\circ}10'19''$ пн. ш. і $24^{\circ}25'16''$ сх. д., а також $48^{\circ}10'22''$ пн. ш. і $24^{\circ}25'16''$ сх. д. Аналіз розподілу температури свідчить про те, що ближчим до істинного є перше значення.

Зазначимо, що нижчою, порівняно з прилеглою місцевістю, температура характерна не лише для північних та північно-західних схилах Карпат. Подібну закономірність виявлено авторами і для схилів київських пагорбів [3].

Логічним є питання відповідності отриманих даних про температуру земної поверхні з тією, що спостерігається на найближчих метеостанціях. У цьому разі доцільно використати дані метеостанції Пожежевська, що розташована біля г. Говерли. Метеорологічний майданчик цієї станції має невеликий похил на північний схід.

Наявні дані показують, що амплітуда коливань температури земної поверхні на метеостанції значно більша, ніж повітря. Крім того, залежно від сезону, температура земної поверхні може бути вищою і нижчою за температуру повітря. Узимку температура земної поверхні нижча за температуру повітря, влітку — навпаки. Амплітуда коливань залежить також від того, якою є погода — сонячна чи хмарна. У першому випадку амплітуда температури істотно більша.

13 лютого 2015 р. у момент знімання супутником поверхні Землі її температура на вершині Говерли становила мінус 12.5°C , на метеостанції Пожежевська — мінус 3.7°C . У літній день 5 червня 2015 р. температура на вершині Говерли становила 15.3°C , на метеостанції — 31.0°C (рис. 10).

Дані обробки супутникових знімків дають змогу встановити температуру земної поверхні, яка одночасно спостерігалася на гірських вершинах. Виявилося, що між цими даними існує дуже тісний зв'язок. Коефіцієнт кореляції між температурою земної поверхні на вершині Говерли і температурою на інших верши-

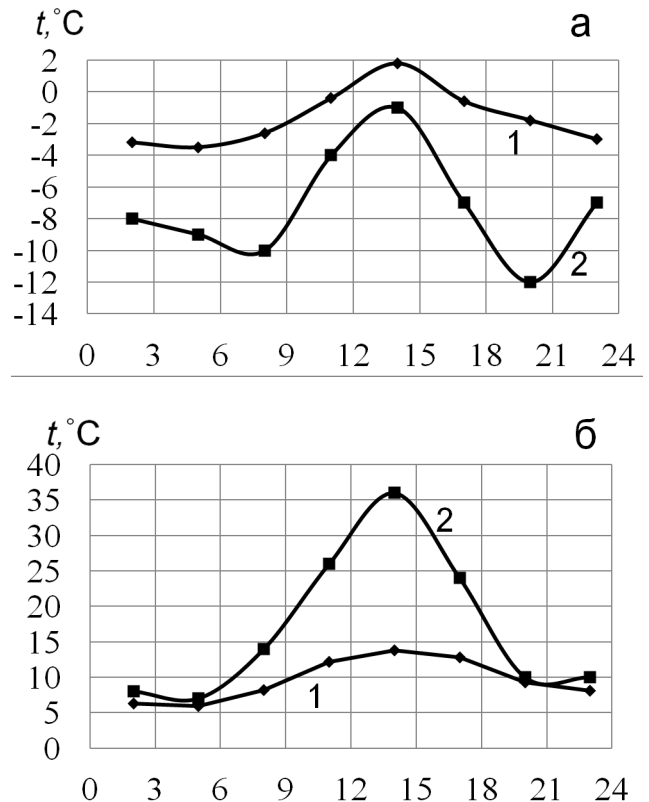


Рис. 10. Температура повітря (1) і поверхні ґрунту (2) на метеостанції Пожежевська 13.02.2015 р. (а) і 5.06.15 (б)

нах Чорногори є більшим за 0.99. Дещо гіршою є тіснота зв'язку з горою Піп Іван Мармароський, яка знаходиться в іншому гірському масиві і де температура земної поверхні помітно вища (табл. 3 і рис. 11).

Доволі тісною з коефіцієнтом кореляції більше 0.9 є й залежність між температурою земної поверхні на метеостанції Пожежевська і температурою на вершині Говерли.

Висновки

Найнижча температура земної поверхні в Українських Карпатах властива для гірського масиву Чорногора, висота якого найбільша. Істотний вплив на температуру має також експозиція схилів. У сонячну погоду, незалежно від сезону, найнижча температура земної поверхні спостерігається не на вершинах гір, а на їх північних і північно-західних схилах. Водночас на південно-східних схилах температура ґрунту є значно вищою. Відмінність температури на різних схилах гір може перевищувати 10°C .

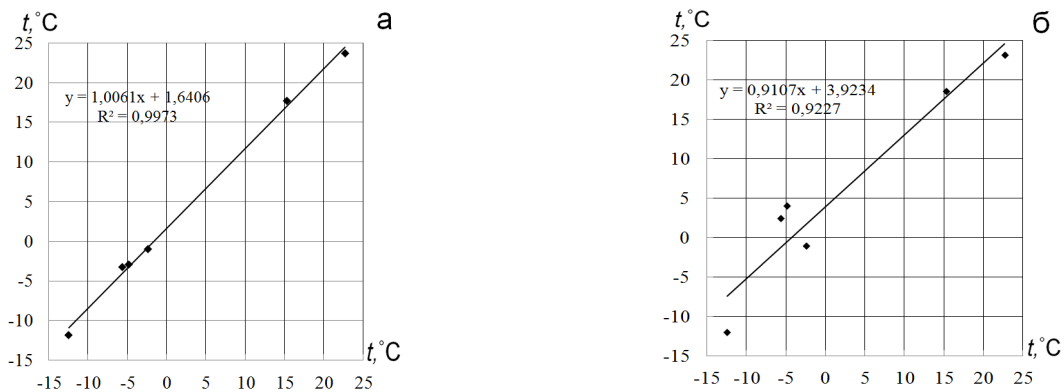
Між температурою земної поверхні на вершинах гір, що розташовані порівняно неподалік, існує тісна залежність. У межах хребта Чорногора коефіцієнт кореляції є більшим за 0.99.

Важливим чинником формування снігового покриву є висота місцевості. Найбільш засніженими масивами Українських Карпат є найвищі гірські масиви Чорногора та Свидовець.

Таблиця 3.

Температура земної поверхні на вершинах Карпат, отримана за даними космічних знімків супутника Landsat 8, °C

Назва	Д а т а					
	05.10.13	30.03.14	13.02.15	05.06.15	08.08.15	27.10.15
Говерла	– 4.86	– 2.42	– 12.46	15.28	22.68	– 5.67
Бребенскул	– 5.36	– 3.52	– 13.42	13.80	22.91	– 6.06
Піп Іван Чорногірський	– 5.31	– 3.59	– 13.79	13.53	22.80	– 7.00
Петрос	– 2.94	– 1.00	– 11.78	17.72	23.74	– 3.27
Гупин Томнатик	– 4.07	– 4.02	– 12.96	14.07	22.32	– 5.96
Ребра	– 3.80	– 2.80	– 12.35	14.92	22.96	– 4.58
Менчул	– 6.03	– 3.67	– 14.24	16.17	22.78	– 6.84
Піп Іван Мармароський	4.02	– 1.11	– 12.02	18.52	23.17	2.39
Туркул	– 2.96	– 0.56	– 10.55	15.42	25.26	– 3.46
Брескул	– 5.24	– 2.61	– 12.12	15.60	22.64	– 6.53

**Рис. 11.** Залежність температури земної поверхні на вершинах гір Петрос (а) і Піп Іван Мармароський (б) від температури на вершині Говерли

Література

1. Муха Б. Термічні властивості топоклімату Карпатського національного природного парку / Б. Муха // Вісник Львів. ун-ту. Серія геогр. — 2008. — Вип. 35. — С. 250–266.
2. Тепловой и водный режим Украинских Карпат. — Л.: Гидрометиздат, 1985. — 366 с.
3. Шевчук С. А. Використання даних супутника Landsat 8 для визначення мікрокліматичних особливостей Киє-ва / С. А. Шевчук, В. І. Вишневецький // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2016. — №10. — С. 4–9.
4. Barsi J. A. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration / J. A. Barsi, J. R. Schott, S. J. Hook [et al.] // Remote Sens. — 2014. — 6. — Р. 11607–11626.
5. LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>. — Назва з екрану.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ВЫЯСНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УКРАИНСКИХ КАРПАТ

В. И. Вишневецкий, С. А. Шевчук

Показана возможность использования данных ДЗЗ для выяснения термических особенностей Украинских Карпат. Установлено, что наиболее низкая температура земной поверхности наблюдается не на вершинах гор, а на их северных и северо-западных склонах.

Ключевые слова: температура земной поверхности, Украинские Карпаты, дистанционное зондирование

THE USE OF REMOTE SENSING METHODS FOR DETERMINATION OF THE THERMAL CHARACTERISTICS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

V. I. Vyshnevskyi, S. A. Shevchuk

The was shown the possibility of use remote sensing data for determination of thermal characteristics of the Ukrainian Carpathians. It was found that the lowest temperature of the earth's surface is not observed on the tops of the mountains but on their northern and north-western slopes.

Keywords: The temperature of the earth's surface, the Ukrainian Carpathians, remote sensing

УДК 551.1:551.7(477)

Будова Оріхово-Павлоградської шовної зони за палеогеографічними та геолого-геофізичними даними

С. М. Єсіпович *, З. М. Товстюк, О. П. Головащук, О. А. Рибак, О. П. Скопенко, Г. М. Ромашко, І. В. Лазаренко
ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України", Київ, Україна

Досліджується тектонічна будова Оріхово-Павлоградської міжблокової зони Українського щита. Показано, що вона почала формуватись з часу 3 600 млн. років, на катархей-архейському, овоїдно-кільцевому етапі розвитку континентальної земної кори. На основі комплексного аналізу геолого-геофізичних, морфометричних та аерокосмічних даних показана її внутрішня будова та виділені аномальні об'єкти для подальших досліджень.

Ключові слова: овоїдно-кільцевий етап, лінеamentний аналіз, шовна рифтогенна зона, циклічність геологічних процесів, аномалії гравітаційного та магнітного полів, радарна космічна зйомка

© С. М. Єсіпович, З. М. Товстюк, О. П. Головащук, О. А. Рибак, О. П. Скопенко, Г. М. Ромашко, І. В. Лазаренко. 2017

Вступ

Переважає більшість високодебітних родовищ не тільки вуглеводнів, але більшості родовищ корисних копалин ендегенного (глибинного) генезису зосереджена в ослаблених або рифтових шовних зонах земної кори різного віку та динамічної виразності, що роз'єднують відносно стабільні ділянки земної поверхні та є *зонами підвищеної геодинамічної напруги*. Саме тому такі зони зазвичай окреслені в рельєфі земної поверхні та достатньо чітко фіксуються на космічних знімках [2].

Патріархом наукових основ пошуку родовищ вуглеводнів був М. О. Кудрявцев, який в середині ХХ століття обґрунтував неможливість успішних пошуків нафти та газу відповідно до концепції їх органічного (площинного) опішукування. Було звернуто увагу на необхідність пошуку шляхів виходу на поверхню глибинних флюїдів по лініях розриву та зміщення геологічних порід. І. І. Чебаненко, досліджуючи лінії розриву Українського щита (УЩ), ввів поняття об'ємності, як "зони розлому" з різною шириною (від 0,3 до 8 км). Він також прийшов до висновків, що *існує єдиний механізм формування родовищ корисних копалин в земній корі* саме під час вторгнення в неї мантіїної речовини по зонах глибинних розломів. В. К. Гавриш в бортових частинах Дніпровсько-Донецької западини виділив "розломопари" до 10 км завширшки.

Комплекс методів прогнозу об'єктів корисних копалин будь-якої території базується на реальній моделі зв'язку певних компонентів ландшафту, особливостей геофізичних полів Землі та аерокосмічних даних, які комплексно переобробляються та переосмислюються з метою створення принципово нової геодинамічної схеми тектоніки регіону та

історії його геологічного розвитку. Першочергова увага приділяється міжблоковим шовним рифтогенним зонам (ШРЗ) і визначається їх геодинамічна активність. Виділені ШРЗ і стають регіональним об'єктом пошуку родовищ корисних копалин (КК). Тільки в цій, визначеній зоні пошуку можна сподіватися на відкриття родовищ КК, тип та якість яких залежить від віку та геодинамічної виразності самої ШРЗ. В межах регіонального об'єкту ШРЗ проводяться пошукові та детальні аерокосмогеологічні роботи за методом суперпозиції (накладання-співставлення) аномальних зон, виділених різними методами. Обґрунтовується положення суперпозиційної аномалії на поверхні, яка може свідчити про існування покладу КК на глибині.

Область досліджень та задачі

Область досліджень розміщена уздовж течії ріки Молочна, в межах Оріхово-Павлоградського геосинклінального трога, який виділяється більшістю дослідників УЩ, хоча геологічна трактовка його, розміри та історія розвитку надаються по-різному. Субмеридіональні зони УЩ — Одесько-Ядлівська, Криворізько-Кременчуцька та Оріхово-Павлоградська вважаються ранньопротерозойськими необерненими прогинами, чітко вираженими по поверхні Мохо. Саме тому в роботі [6] зазначається, що розломи субмеридіонального напрямку "січуть" розломи ортогональної і діагональної систем та утворювані ними блоки, отже вони можуть бути більш пізнього закладання. Досліджуючи детально це питання, професор Дніпропетровського гірничого інституту (ДГІ) Григорій Якович Галіздра ще в 70-ті роки минулого століття прийшов до протилежного висновку. Він відзначав, що характерною особливістю розломних зон субмеридіонального простягання є специфічне кулісоподібне розміщення

* Тел.+380 44 486 84 21

локальних структур уздовж цих зон. А менша витривалість самих зон свідчить про можливе використання в момент закладання вже існуючих ослаблених ділянок, які є фрагментами попередніх систем розломів. Специфічні накладені протерозойські структури, утворені породами криворізької серії саме просторово та генетично пов'язані з Криворізько-Кременчуцькою та Оріхово-Павлоградською зонами розломів. Цікавий приклад із практики, в одній із своїх лекцій студентам-геофізикам РФ-68, навів доцент ДП О. П. Каршенбаум. На одній з ділянок Криворіжжя дві свердловини дали хорошу продукцію пошукової сировини. У нього спитали, де бурити третю? Геофізичних даних в зоні, що розбурювалася, було недостатньо. Оскільки тоді домінували засади розломно-блокової (переважно прямолінійної) тектоніки, О. П. Каршенбаум з'єднав свердловини прямою лінією і показав місце буріння рівно посередині. Саме там і була пробурена ще одна успішна свердловина.

— Я був дуже гордий за успіх, — говорив на лекції Олександр Павлович, а потім, зробивши велику паузу і насолодившись нашим захватом, лектор заключив, що подальше розбурювання прямої лінії дало негативні результати — виявили серію зчленованих дугових систем розломів. В роботі [2] підкреслюється важливість думки О. Б. Гінтова, що мобільні кільця його тектоноконцентрів, можуть використовуватися більш пізніми системами розломів, як області вже ослабленої земної кори. Сьогодні це підтверджується в роботі [4], де обґрунтовується овоїдно-кільцева структура УЩ.

Основним завданням досліджень є побудова схе-

ми тектоніки Оріхово-Павлоградської міжблокової зони та виділення в ній можливих аномальних об'єктів на даному етапі.

Методологія досліджень та результати

За нашими уявленнями [4], Оріхово-Павлоградська зона — це, по-суті, зона зчленування мобільних кілець двох тектоноконцентрів (ТКЦ), які перекриваються між собою — Придніпровського та Західно-Приазовського (рис. 1), причому, зона ріки Молочна розміщена саме в межах мобільного кільцевого об'ємлення Західно-Приазовського ТКЦ (рис. 2).

Колектив дослідників (О. М. Пономаренко та інші, 2010 р.), вивчаючи ділянку Оріхово-Павлоградської міжблокової зони УЩ біля с. Васильківки на річці Вовча (див. рис. 1), прийшли до висновків, що деформаційні утворення здебільшого формувались у високопластичному геологічному середовищі, а ступінь їх метаморфізму досягав гранулітової та амфіболітової фацій. Автори зазначають, що раніше були описані декілька різновидів цирконів та відповідно їм групи інтервалів віку в межах: 3.6 млрд. років — кінець Катархею; 3.4–3.3 млрд. років — ранній архей; 2.8–2.7 млрд. років — пізній архей та 2.0 млрд. років — середній протерозой, а самі вони зафіксували утворення віком 1.8–1.7 млрд. років, які формувались в термобаричних умовах від гранулітової до зеленосланцевої фацій метаморфізму. З першими чотирма віковими групами в роботі [7] пов'язують мікро та мезоструктури, які різняться між собою просторовими та речовинними показниками. А більш пізні дислокаційні перетворення в інтер-

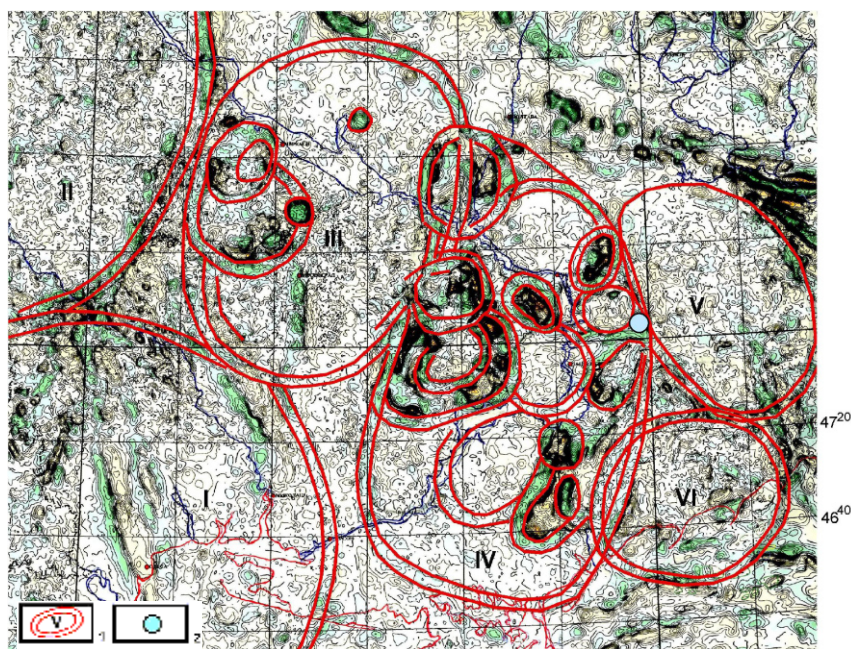


Рис.1. Тектоноконцентри України на фоні аномального гравітаційного поля.

1 — тектоноконцентри: I — Південноукраїнський, II — Північноукраїнський, III — Криворізький, IV — Придніпровський, V — Лозоватинський, VI — Західно-Приазовський, 2 — район польових досліджень [7]

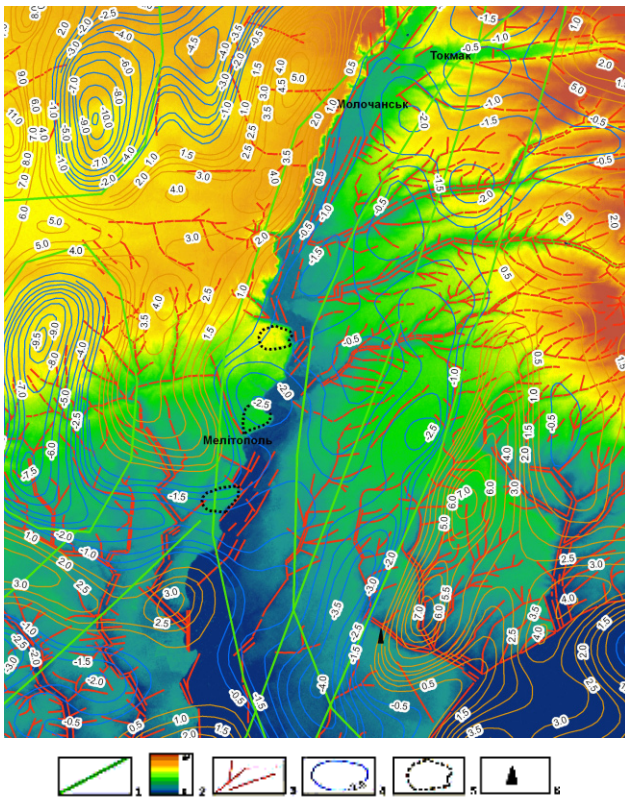


Рис. 2. Зчленування ТКЦ Придніпровського та Західно-Приазовського на фоні SRTM, негативного гравітаційного поля та даних лінеamentного аналізу.

1 — ТКЦ; 2 — ступінь вертикального розчленування в м; 3 — лінеamenti; 4 — ізолінії аномалій негативного гравітаційного поля; 5 — “закріплені” піски, 6 — Приазовське газове родовище

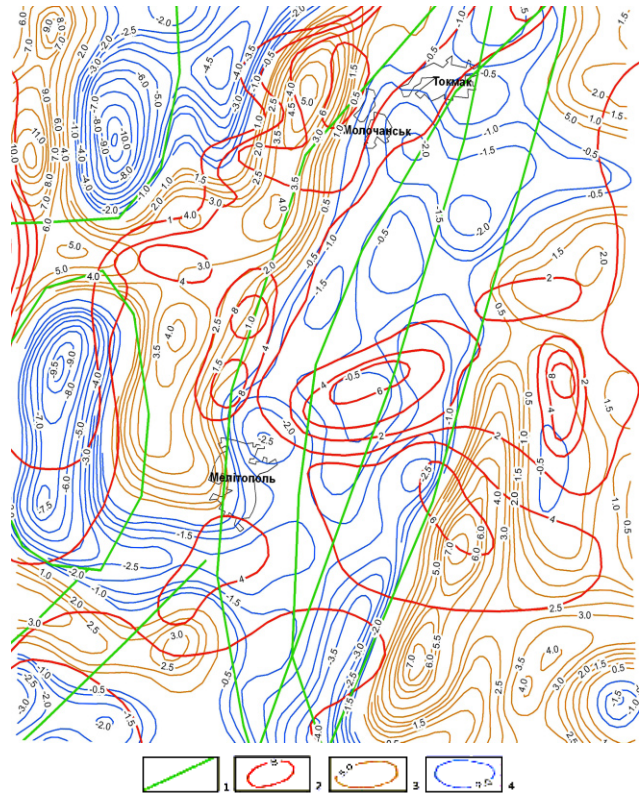


Рис. 3. Зона зчленування ТКЦ Придніпровського та Західно-Приазовського на фоні аномальних гравітаційного та магнітного полів.

1 — ТКЦ; 2 — ізолінії аномалій магнітного позитивного поля; 3 — ізолінії аномалій гравітаційного додатного поля; 4 — ізолінії аномалій гравітаційного негативного поля

валі часу 1.8–1.7 млрд. років вже не супроводжувалися інтенсивними динамометаморфічними змінами порід, порівняно з попередніми деформаціями.

Якщо перший віковий рубіж в 3.6 млрд. років характеризує перехід від режиму переважного розширення до переважного стиснення одного глобального галактичного циклу (ГЦ), то інші чотири — виключно режими розширення геологічних циклів різних рангів, які панували в земній корі того часу [2].

В роботі [2] обґрунтовано розвиток поверхні планети та виділено етап формування континентів — овоїдно-кільцевий в часовому відрізку 4818–2554 млн. років. В подальшому йшло нарощування та цементация континентальних масивів необерненими прогинами протягом 4-х глобальних Галактичних циклів протерозою та епіпротерозою (2554–743 млн. років).

По суті ми розглядаємо область перекриття мобільних кілець ТКЦ Придніпровського та Західно-Приазовського (див. рис. 1). Це принципово нова тектонічна трактовка Оріхово-Павлоградської зони, яка не продовжується на південь далі узбережжя Азовського моря (устя Молочного лиману). Південні частини мобільних кілець зазначених ТКЦ продовжуються в бік Перекопу та Північно-Азовського прогину, органічно вписуючись в морфоло-

гію рельєфу — річок, лиманів, кіс. Після області зчленування вище 46° 40' пв. ш. Оріхово-Павлоградська зона продовжується на північ мобільними кільцями Придніпровського та Західно-Приазовського ТКЦ до широти 47° 20', а далі з вигином на захід по зоні зчленування ТКЦ Придніпровського та Лозоватинського. Саме тут знаходиться ділянка, де працювали автори роботи [7]. А в зоні зчленування Лозоватинського та Західно-Приазовського ТКЦ розміщується Конксько-Ялинська западина, яка була активована на Альпійському етапі розвитку, про що свідчать осадові утворення від ранньої крейди включно. Продовжувати Оріхово-Павлоградську зону далі на північ в межі Воронезького кристалічного масиву та на південь, в акваторію Азовського моря, на наш погляд, немає ні геологічних, ні геофізичних підстав.

Самі зони мобільних кілець ТКЦ України мають ширину 10–12 км та маркуються переважно негативними гравітаційними аномаліями (рис. 3). В нашому випадку зона зчленування мобільних кілець ТКЦ Придніпровського та Західно-Приазовського маркується саме негативним гравітаційним полем, яке затиснуте між позитивними гравітаційними аномаліями зовнішніх кордонів мобільних кілець.

Дуже цікаво, що зовнішня західна межа Західно-

Приазовського ТКЦ окрім позитивної гравітаційної аномалії, впевнено маркується ще й позитивною магнітною, чого ми не бачимо на сході (див. рис.3). В принципі це може свідчити, що Західно-Приазовський ТКЦ вже був сформований на той час, коли почав формуватись Придніпровський ТКЦ. До його зовнішньої зони (в межах нижньої частини області зчленування) тяжіє Приазовське газове родовище (див. рис.2), підтверджуючи активність її на сучасному етапі. Така геолого-тектонічна модель даного сегменту Оріхово-Павлоградської зони повною мірою підтверджується аналізом геофізичних полів, морфометрією території та аерокосмічними даними.

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що ріка Молочна, протікаючи в межах мобільного кільця Західно-Приазовського ТКЦ, своїм крутим вигином на схід, північніше Мелітополя, омиває аномальну зону земної поверхні, яка чітко простежується за даними лінеamentного аналізу та радарної космічної зйомки SRTM (див. рис. 2). В ній можна виділити з півночі на південь три аномальні об'єкти — два північніше Мелітополя та один південніше. Всі три характеризуються крутими вигинами р. Молочної на схід, яка немовби обтікає якісь перешкоди та зафіксовані аномальні місця розвитку “закріплених пісків”. За нашими припущеннями, ріка могла оми-

нати або вже існуючий останець земної поверхні у вигляді жорсткого узвишшя, або активну геодинамічну зону, яка піднімалася.

Детально розглянемо перший, найпівнічніший об'єкт аномальної зони, розміщений в межах сіл Терпіння та Мирного (рис. 4).

Поблизу с. Терпіння, на східній околиці с. Мирне знаходиться Кам'яна Могила (КМ) — стоянка епохи пізнього палеоліту (46° 59' 02" пн. ш.; 35° 26' 28" сх. д.). Після відкриття гроту Колдуна, печери Кози та Бізона з рисунками плейстоценової фауни (мамонти, птахи, змії, бізони, носороги, олені тощо) та при наявності радіовуглецевого датування встановили, що петрогліфи палеоліту охоплюють час від XXIV–XXII тисячоліття до н. е. по X–XII століття. Молочанські пісковики з наскельними написами КМ мають наукове значення всесвітнього рівня, являючись по суті слідами перетинання різних історичних епох та відображаючи історію Великого Степу від Карпат до Алтаю — колиски сучасної цивілізації.

Але й самі колосальні хаотичні нагромадження пісковикових брил далеко не ординарне явище, аналогії якого в неогенових товщах порід України невідомі і належного тлумачення подібному скупченню брил не існує [1]. На площі в 3 га зосередже-



Рис. 4. Територія на якій знаходиться Кам'яна Могила та джерела

но біля 3-х тисяч плит. Це не безладне їх нагромадження, а правильний кам'яний панцир приблизно овальної форми — 100×150 м. Висота КМ біля 13 м — це трохи нижче крутого правого берега долини ріки Молочна, в оголеннях якого зустрічаються тверді пластоподібні тіла невеликої потужності (до одного метра). Отже брили пісковика не могли бути перенесені з іншого місця та якимось чином концентруватись на місці КМ. Вони утворилися аномально в товщі порід, які виповнювали тоді ще неіснуючу долину. З часом м'які сипучі породи розмивалися, а тверді залишалися на місці, утворюючи хаотичне нагромадження. Але як і чому на невеликому просторі утворилися брили міцних пісковиків?

Біоенергетики засвідчують наявність в центрі пагорба енергетичного стовпа з позитивним зарядом. В межах давнього вівтаря на вершині, п'ять каменів мають позитивну енергетику і тільки один — негативну.

Породи, що складають пагорб, представлені пісковиками кварцовими світло- і жовтувато-сірого, жовтуватого і буро-жовтуватого до червоного кольору, середньо-крупнозернистими, міцними до злитих і менш міцними сипкими. В різних районах України часто зустрічаються пісковики новопетрівської світи нижнього-середнього міоцену (14–12 млн. років). В межах Причорноморської западини аналогічна товща пісковиків розглядається як тархан-чокрацька. Але за результатами останніх досліджень не виключено, що їх вік більш молодий понтичний, пізньоміоценовий [5].

Утворення злитих пісковиків можна пояснити метасоматичними процесами тектоно-термальної переробки піску, зосередженого, приміром, в кальдері вулкана або його бокового жерла.

Трохи далі на північ, на цьому ж крутому березі Молочної в селі Терпіння зафіксована серія джерел з потужними дебітами прісної води (див. рис. 4). Вони, знову ж таки, розміщені на аномальному просторі діаметром до сотні метрів. Вода смачна, питна, температура 9°C , дебіти постійно потужні і не залежать від пори року. Джерела упоряджені меценатами — під'їзна дорога, місця набирання води, купальня для всіх бажаючих. Вода збирається в глибокий ставок, обсаджений вербами, а потім стікає в річку. Саме місце вважається святим і його патрунує православна церква.

Чи є зв'язок між Кам'яною Могилою та джерелами Терпіння, і якщо є, то який? Локальні місця розміщення джерел Терпіння та КМ немовби притягують до себе річку аномальними її вигинами на захід, хоча в цілому утворюють дугу з півночі на схід уздовж загальної її течії. Дугу можна продовжити на південь та захід через села Рівне та Північне. Утвориться коло з умовним центром в селищі Мирне. Це місце чітко маркується аномалією SRTM та розвитком закріплених пісків (див. рис. 2). Логічно припустити

існування на описаному місці палеовулкану Мирного, діаметром приблизно 12 км, західну межу якого маркують села Північне та Рівне, а східну — вигин ріки Молочна (див. рис. 4). Бокові жерла його на півночі та сході маркуються джерелами Терпіння та Кам'яною могилою. Саме активація їх і може створювати геодинамічний ефект локального “притягування” русла ріки Молочна. Позитивні аномалії біоенергетиків також добре вписуються в модель бокового жерла палеовулкана, активного і на сучасному етапі. Навіть саме розміщення палеовулкану в межах ослабленої зони, повністю відповідає ідеології мобільного, а значить рухомого обрамлення ТКЦ. Два наступні аномальні об'єкти, які знаходяться в цій же зоні вище і нижче м. Мелітополя, тяжіють до таких же лівосторонніх вигинів Молочної та можуть також бути пов'язані з палеовулканами. Перший з них маркується від'ємним гравітаційним аномальним полем — діаметр ізометричної форми приблизно 10–12 км (див. рис. 3) — від'ємну гравітаційну аномалію явно обтікає позитивна, а другий вимальовується по характерній лівосторонній закрутці лінеamentів.

Обговорення та висновки

Хоча теорія геосинкліналей добре пояснювала утворення гірських систем фанерозою (з часу 743 млн. років), але застосування її до стабільних ділянок земної кори щитів та платформ — призводило до суперечливих висновків. Циклічність геологічних процесів започаткована в роботах Г. Штілле, С. М. Бубнова, Г. П. Леонова, та М. Ф. Балуховського, суттєво розширюючи методи геологічного аналізу і підтверджуючи наявність пульсуючого механізму розвитку земної поверхні, не давала чіткої ієрархії циклів різних рангів та жорсткої фіксації їх в межах геохронологічної шкали. Саме ліквідувавши ці вади циклічності в роботі [3], вдалося обґрунтувати новий геотектонічний елемент — так звані ослаблені міжблокові, або шовні рифтогенні зони (ШРЗ) [5]. Стало зрозуміло, що саме вони реагують на пульсуючий механізм розвитку літосфери планети і в їх межах зосереджена сучасна геодинамічна активність, як результат підйому активних компонентів мантиї. Геодинамічна шкала циклічності для фанерозою, жорстко зафіксована в межах геохронологічної шкали, опублікована в роботі [2]. Вона дозволяє описувати історію геологічного розвитку будь якого регіону планети на основі самої загальної геолого-геофізичної інформації і навіть прогнозувати розвиток геологічних комплексів, не підтверджених бурінням.

Комплекс методів прогнозу об'єктів корисних копалин будь-якої території базується на реальній моделі зв'язку певних компонентів ландшафту і особливостей геофізичних полів Землі. Базовими є геолого-геофізичні та аерокосмічні дослідження,

які комплексно переобробляються та переосмислюються з метою створення принципово нової геодинамічної схеми тектоніки регіону та історії його геологічного розвитку, на базі циклічних процесів формування земної кори.

- Побудована принципово нова геолого-тектонічна модель Оріхово-Павлоградської зони. Вона повною мірою підтверджується аналізом геофізичних полів, морфометрією території та аерокосмічними даними. Історія її розвитку, за даними роботи [7], починається з кінця Катархею (3 600 млн. років), на овоїдно-кільцевому етапі формування континентів.
- Активність деяких сегментів мобільних кілець ТКЦ зафіксована і на новітньому етапі і саме вони можуть бути регіональними об'єктами пошуків корисних копалин.
- Пошуковий інтерес на сьогодні являє ланцюжок можливого розвитку палеовулканів на правому березі ріки Молочна та зона мобільного кільця Придніпровського ТКЦ в районі Приазовського родовища газу.
- Запропоновані реальні геологічні моделі формування Кам'яної могили та джерел Терпіння. Взагалі всі відомі аномальні тіла пісковиків, розміщені в долинах, як, наприклад, Тустань (Карпати) можуть бути пов'язані саме з виверженням вулканів, та процесами, які їм супутні — метасоматозом, тектоно-термальною переробкою і т. п.
- При дешифруванні морфометричних та аерокосмічних даних басейнів рік доцільно враховувати, що долини їх, або сегменти долин можуть розвиватись в ослаблених зонах земної кори, де вірогідна присутність палеовулканів.

Література

1. Геологічні пам'ятки України / За ред. Д. С. Гурського, В. І. Калініна. У 4-х т. — Київ, 2007. — Том. II. — 320 с.
2. Єсипович С. М. Історія планети Земля — пульсуючий розвиток під дією космічного пресингу [Електронний ресурс]: монографія: С. М. Єсипович; ДУ Наук. центр аерокосміч. досл. Землі Інст-ту геолог. наук НАН України [Електронний ресурс] — К., 2015. — 190 с. — Інтернет-портал “Research Gat”. Режим доступу: http://www.researchgate.net/profile/Staniislav_Yesypovych/publications. — Назва з екрану. — Дата звернення: 17.01.2017.
3. Єсипович С. М. История развития планеты Земля — пульсирующее расширение под действием космического прессинга / С. М. Єсипович. — Одесса: Астропринт, 1998. — 152 с.
4. Єсипович С. М. Структури ооїдно-кільцевого етапу розвитку земної кори на території України / С. М. Єсипович // Геология и полезные ископаемые мирового океана. — 2016. — №4. — С.104–108.
5. Єсипович С. М. Геолого-геофизические и структурно-морфологические характеристики шовных рифтогенных зон / С. М. Єсипович // Науковий вісник НГУ. — 2003. — №10 — С.38–40.
6. Изучение тектоники докембрия геолого-геофизическими методами. / В. М. Беланов, Г. Я. Голиздра [и др.]. — М.: Недра, 1972. — 260 с.
7. Кореляція структурно-геологічних і аерокосмічних досліджень з метою уточнення будови та розвитку Оріхово-Павлоградської міжблокової зони Українського щита. / О. М. Пономаренко, О. Т. Азімов, Л. С. Осьмачко, В. П. Янченко. // Геоінформатика — 2010. — №4. — С. 69–76.

СТРОЕНИЕ ОРЕХОВО-ПАВЛОГРАДСКОЙ ШОВНОЙ ЗОНЫ ПО ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИМ И ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

С. М. Єсипович, З. М. Товстюк, Е. П. Головащук, Е. А. Рыбак, Е. П. Скопенко, Г. М. Ромашко, И. В. Лазаренко

Исследуется тектоническое строение Орехово-Павлоградской межблоковой зоны Украинского щита. Показано, что она начала формироваться со времени 3600 млн. лет, на Катархей-Архейском, ооидно-кольцевом этапе развития континентальной земной коры. На основании комплексного анализа геолого-геофизических, морфометрических и аэрокосмических данных показано ее внутреннее строение и выделены аномальные объекты для дальнейших исследований.

Ключевые слова: ооидно-кольцевой этап, линеаментный анализ, шовная рифтогенная зона, цикличность геологических процессов, аномалии гравитационного и магнитного полей, радарная космическая съемка

THE STRUCTURE OF THE OREKHOVO-PAVLOGRAD SUTURE ZONE BY PALEOGEOGRAPHIC, GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA

S. M. Jesypovych, Z. M. Tovstyuk, E. P. Golovaschuk, E. A. Rybak, E. P. Skopenko, G. M. Romaschko, I. V. Lazarenko

The tectonic structure of the Orekhov-Pavlograd interblock zone of the Ukrainian shield is studied in this paper. This one has emerged since the 3600 million years ago, during the Katarchean/Archaean, ooid-ringed stage of the continental crust evolution. Its internal structure is described and anomalous features for future research are highlighted by comprehensive analysis of geological, geophysical, morphometric and remote sensed data.

Keywords: ooid-ringed stage, lineament analysis, seam rift zone, the cyclical geological processes, anomalies in the gravitational and magnetic fields, radar satellite imagery

УДК: 004.62, 004.67

Стан моніторингу фактичного використання сільськогосподарських земель в провідних країнах на основі супутникових даних

А. Ю. Шелестов^{1,2*}, Б. Я. Яйлимов²¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»² Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, Україна

Представлені результати аналізу використання супутникових даних для моніторингу сільськогосподарських земель в різних країнах. З практичної точки зору проаналізовано доступність супутникових даних і загальноприйняті підходи до отримання та обробки даних.

Ключові слова: Land Cover, CAP, JRC, IACS, CDL, GEOGLAM, моніторинг сільськогосподарських земель, класифікація супутникових даних

© А. Ю. Шелестов, Б. Я. Яйлимов. 2017

Вступ

У зв'язку з запуском великої кількості супутників спостереження Землі і наявністю великих об'ємів різномірних даних дистанційних спостережень в останні роки ці дані широко використовуються органами державної влади різних країн для підтримки прийняття рішень в сфері екологічної безпеки, моніторингу розбудови міст та доріг, побудови єдиної інфраструктури геопросторових даних INSPIRE, агромоніторингу.

Проаналізуємо результати проведеного аналізу щодо застосування даних спостереження Землі для моніторингу фактичного використання земель сільськогосподарського призначення в різних країнах.

Європейський Союз

В Європі моніторинг фактичного використання земель здійснюється в межах реалізації Спільної сільськогосподарської політики (CAP — Common Agricultural Policy) [7]. З 2013 р. у всіх Європейських країнах запроваджено нову нормативну основу для здійснення контролю за екологічною безпекою та використанням коштів на сільськогосподарське виробництво [7, 17—25, 37, 59—61].

Політика CAP призначена для підтримки фермерів у Європі, які забезпечують життєдіяльність більше ніж 500 мільйонів європейців. Її основна мета полягає у забезпеченні стабільної, сталої підтримки виробників сільськогосподарської продукції, забезпечення адекватних цін для споживачів та зростання стандартів праці для 22 мільйонів фермерів та працівників сільського господарства.

Агропромисловий сектор ЄС має 11 мільйонів фермерських господарств, на яких працює біля 22 мільйонів працівників. В той же час кількість працюючих зростає до 44 мільйонів, коли до уваги беруться працівники фабрик. Це робить агропромисловий сектор ЄС найбільшим ринком праці європейської економіки.

Політика CAP призначена для підтримки фермерів у Європі. Її основна мета полягає у забезпеченні стабільної, сталої підтримки виробників сільськогосподарської продукції, забезпечення адекватних цін для споживачів та зростання стандартів праці для 22 мільйонів фермерів та працівників сільського господарства.

Зокрема, в межах ЄС розроблено та використовується єдина **інтегрована система адміністрування та контролю** (Integrated Administration and Control System — IACS) [24]. Систему IACS повинні підтримувати та використовувати всі країни-члени ЄС [24]. Ця система призначена для менеджменту субсидій, які можуть бути отримані конкретними фермерами або сільськогосподарськими господарствами напряму (direct funding) або в межах програми розвитку сільських територій (rural development) від спеціалізованих агенцій (Paying Agency — PA).

Система IACS складається з декількох комп'ютерних, пов'язаних одна з одною, баз даних, які використовуються для обробки запитів на фінансування від фермерів. Зокрема, система IACS має наступні основні компоненти [24]: підсистема ідентифікації фермерів, система ідентифікації всіх сільськогосподарських ділянок Land Parcel Identification System (LPIS) [23], система ідентифікації субсидій та платежів, система ідентифікації та реєстрації тварин.

Система IACS забезпечує унікальний ідентифікаційний номер фермера та земельних ділянок (парселей) [24].

*E-mail: yailymov@gmail.com, тел. +380(93)9311600

В межах функціонування системи IACS коректність надання субсидій може бути перевірена шляхом проведення адміністративної процедури або здійснення вибірових наземних експедицій (On-The-Spot-Check — OTSC) [17]. Адміністративні інструменти дозволяють проводити перехресні перевірки інформації, що міститься у формі апліканта (фермера) [24]. Перехресні перевірки здійснюються в системі IACS автоматично.

Для перевірки коректності даних можуть також бути використані методи оцінки ризиків. Якщо в результаті перевірки були знайдені невідповідності у занесеній інформації, країною-членом ЄС повинна бути організована наземна перевірка обраних земельних ділянок OTSC [60, 61]. Для цього можуть використовуватись різні методи, зокрема, випадкового вибору ділянок для перевірки, стратифікованого випадкового вибору або вибору в межах окремих кластерів [20]. При цьому повинні бути перевірені 50% ділянок з помилками. В той же час, якщо є у наявності аеро- або супутникові зображення цільової території, у багатьох випадках шляхом використання таких даних можна мінімізувати кількість наземних виїздів та оцінити розмір парселів та тип культури дистанційно [24]. При цьому в якості супутникових зображень використовуються дані з операційних європейських супутників родини Sentinel та програми Copernicus [17].

З огляду на те, що у більшості країн ЄС дані дистанційного зондування використовуються для контролю як мінімум частини субсидій на ведення сільського господарства, значну кількість інформації можна отримати в межах спеціалізованої політики CwRS (Control with Remote Sensing) [59].

Європейська система IACS використовує дані з різних спеціалізованих систем. Тому для забезпечення інтеграції та узгодженості зібраних на протязі вегетаційного сезону даних між різними джерелами/службами використовується структура даних [37]. Зокрема, при обміні даними щодо кадастрових парселів (reference parcel), які відповідають класам земної поверхні (land cover), та системою LPIS з сільськогосподарськими парселями (land use) використовується інфраструктура INSPIRE та низка стандартів ISO щодо обміну геопросторовими даними та метаданими [37].

Посилання на більшість документів та технічних керівництв щодо європейської системи IACS, LPIS та менеджменту сільськогосподарського виробництва в Європі в цілому можна знайти за адресами [22, 25].

США

У США для забезпечення провідної ролі цієї країни в області отримання та використання даних дистанційних спостережень ще у 1992 р. було прийнято цілу низку законів, зокрема № 2297 “Забезпечення провідної ролі США в області дистанційного

зондування та неперервного отримання даних в межах програми Landsat шляхом розвитку нової національної політики дистанційного зондування землі” [38], 3614 “Зміни у законодавчий Акт щодо комерціалізації дистанційного зондування землі шляхом забезпечення неперервного отримання даних в межах програми Landsat та підтримки нової політики дистанційного зондування” та 6133. Ці законодавчі Акти можуть бути об’єднані загальною назвою “Політика дистанційного зондування Землі” (Land Remote Sensing Policy).

В межах цих документів на найвищому законодавчому рівні закріплено важливість операційної програми Landsat, супутникових даних, що отримуються в її межах, та визначено основні компетенції різних відомств [38].

Основною метою законодавчих актів № 2297, 3614 та 6133 є наступне:

- забезпечення лідируючої ролі США в області ДЗЗ у світі, забезпечення національної безпеки та виконання міжнародних зобов’язань;
- законодавча підтримка розробки цивільних дослідницьких програм та демонстрації можливостей застосування технологій ДЗЗ;
- розробка технологій надання даних ДЗЗ високої якості;
- підтримка постійно діючого глобального архіву супутникових даних, які можуть використовуватись для довгострокового моніторингу змін навколишнього середовища.

Іншими документами, що регламентують діяльність космічних агенцій США, є закон 2010 р. № 111—314 [57]. Цей закон містить перелік обов’язків космічної агенції НАСА, інструменти та принципи формування космічних програм, принципи ліцензування доступу до супутникових даних та наземного сегмента (довгострокове зберігання, надання на безкоштовній основі), оцінку ризиків виконання таких програм, обов’язки профільних міністерств тощо.

В розділі VI, “Спостереження Землі” [57], міститься інформація щодо застосувань супутникової інформації. Зокрема, в межах діяльності міністерств сільського господарства та внутрішніх справ США зафіксовано, що для постійного покращення можливостей США щодо управління та застосування поновлюваних та непоновлюваних ресурсів ці установи уповноважені та повинні ініціювати дослідницькі та інноваційні програми застосування даних ДЗЗ шляхом використання відповідних фондів. Міністерства та відомства повинні ініціювати дослідження в університетах, інтеграційну діяльність між різними відомствами та міжнародними організаціями.

Останні роки Національна служба аграрної статистики (National Agricultural Statistics Service — NASS) Департаменту сільського господарства США (US Department of Agriculture — USDA) щорічно бу-

дує інформаційний продукт CDL (Cropland Data Layer — шар даних про сільськогосподарські культури) [6], який представляє собою растрові, географічно прив'язані дані про окремі сільськогосподарські культури та класи земної поверхні. В якості вхідної інформації програмними засобами побудови продукту CDL використовуються супутникові дані середнього просторового розрізнення, зібрані USDA наземні та інші історичні дані, такі як національний набір даних про класи земної поверхні (National Land Cover Data) [6]. Для отримання відкритих для використання результатів класифікації на рівні окремих штатів використовуються методи класифікації на основі дерев рішень. При цьому наземні дані збираються шляхом організації наземних експедицій щорічно у червні в межах підтримки функціонування системи CDL та агенції NASS. При цьому загальна точність класифікації складає від 85% до 95% для основних (мажоритарних) сільськогосподарських культур.

Основна задача департаменту USDA і служби статистики США полягає у вчасному наданні точної статистичної інформації щодо динаміки розвитку сільськогосподарського виробництва. З 2009 р. Програма CDL грає важливу роль у функціонуванні державних органів влади США шляхом надання оперативної інформації по оцінці площ посівів для Ради сільськогосподарської статистики і офісів збору наземної інформації для 15 основних сільськогосподарських культур у 27 штатах. З 2009 р. в межах Програми CDL здійснюється моніторинг різних культур, таких як кукурудза, соя, пшениця, рис, хлопок та надаються оцінки площ посівів на протязі поточного вегетаційного сезону після того, як стають доступними звіти фермерів та супутникові дані [6]. Для найбільш важливих з точки зору сільського господарства штатів служба CDL оновлює цю інформацію до 6 разів на сезон.

Інформаційні продукти CDL являють собою вичерпні, растрові та географічно прив'язані дані по окремим сільськогосподарським культурам та іншими класами земної поверхні з просторовим розрізненням 56 м. З 2010 р. 48 продуктів класифікації земної поверхні для рівня окремого штату були відкрито розповсюджені у вигляді шарів даних для подальшого використання у GIS-системах.

Інформаційні продукти CDL використовуються для отримання багатьох геопросторових продуктів на території США, в тому числі спільно з різночасовими даними MODIS (з геопросторовим розрізненням 500 м) для оцінки площ кукурудзи і сої [8], моніторингу сільськогосподарських земель у Північній та Південній Дакоті [42], автоматичної оцінки стану земель, прогнозування урожайності, оцінки змін ландшафту, сівозмін та розв'язання інших задач у різних предметних областях [45, 48, 52, 58].

При цьому для побудови багатьох продуктів використовуються наземні виміри, які щорічно збира-

ються протягом червня в межах реалізації політики JAS (June Agricultural Survey). Для здійснення наземних досліджень вибирається близько 11 000 сегментів розміром 1 × 1 миль у відповідності до національної стратегії побудови статистично стратифікованих вибірок [6].

В якості основних джерел вхідної інформації для генерації продуктів CDL використовуються дані AWiFS (просторове розрізнення 56 м в надирі), Landsat TM та ETM+ (30 м), супутникові дані MODIS (250—500 м), ретроспективні та актуальні наземні дані, національні набори даних по класах земної поверхні для несільськогосподарських територій, історичні дані та модель рельєфу агенції US Geological Survey (USGS) [49].

Точність інформаційних продуктів CDL для сільського господарства оцінюється шляхом їх порівняння з незалежною валідаційною вибіркою, що формується на основі частини даних, отриманих в процесі проведення наземних досліджень. Кількість таких даних складає біля 30% від загальної кількості зібраних наземних даних. Ці дані використовуються виключно для валідації отриманих моделей на рівні окремих пікселів [6, 10]. Як правило, для основних класів сільськогосподарських культур точності PA і UA складають від 85% до 95%. Ця інформація включається в якості метаданих у всі інформаційні продукти CDL [6, 51].

Канада

В Канаді на основі радарних даних щорічно будується маска сільськогосподарських культур. Відповідальною організацією є Agriculture and Agri-Food Canada — один з департаментів уряду Канади, що займається збором інформації щодо сільськогосподарського виробництва, розробки та впровадження технологій агромоніторингу та здійснення моніторингової політики на рівні держави [12].

Ефективність управління сільським господарством в Канаді напряму залежить від інформації, яка доступна для підтримки процесу прийняття рішень. Масштаби і складність канадського сільськогосподарського ландшафту призводять до того, що супутникові дані використовуються в якості основного джерела своєчасної та актуальної інформації щодо сільськогосподарського виробництва. У 2007 р. Департамент AAFC Міністерства сільського господарства і продовольства Канади зробило перші кроки в напрямку оперативного використання цієї інформації шляхом розробки програмної системи для картографування сільськогосподарських культур на основі супутникових спостережень. Ця система заснована на дослідженнях і розробках програмного забезпечення в області дистанційного зондування, які проводились в департаменті AAFC і в інших організаціях протягом двох десятиліть, і використовується для картографування посівів на окремих

полях в провінціях Альберта, Саскачеван і Манітоба у 2009 і 2010 рр., а в 2011 і 2012 рр. і для всіх інших провінцій Канади (крім Ньюфаундленду, який було додано в систему в 2013 р.) [12].

У 2009 і 2010 рр. для пілотних територій провінцій Манітоба, Саскачеван, Альберта була застосована методологія класифікації та злиття оптичних (Landsat-5, AWiFS, DMC, SPOT) і радарних (Radarsat-2) супутникових зображень. Починаючи з 2011 р. за підтримки Національного кадастру Канади ця методологія застосовується і для інших провінцій. На даний момент запропонований підхід дозволяє виконувати інвентаризацію сільськогосподарських культур з точністю не нижче 85% шляхом використання супутникових даних з просторовим розрізненням 30 м.

На даний момент карти посівів сільськогосподарських культур для всієї території Канади надаються через 8 місяців після закінчення вегетаційного сезону [12]. Насправді, найбільш затребуваними є два типи картографічних продуктів: попередня оцінка під час вегетаційного сезону та остаточна оцінка, зроблена незабаром після закінчення вегетації. З цією метою служба спостереження Землі (Earth Observation Service — EOS) впроваджує новий повністю автоматичний класифікатор сільськогосподарських культур, використання якого дозволить значно скоротити час побудови карт посівів. У 2012 р. відсутність доступних оптичних даних змусила AAFC покладатися в основному на радіолокаційні супутникові дані RADARSAT-2, що, в свою чергу, ускладнило процес підготовки карт посівів. Очікується, що дані з нових супутників (Landsat 8, Radarsat Constellation Mission, Sentinel-2) дозволять істотно підвищити якість карт посівів, розроблених AAFC.

Початкова інвентаризація сільськогосподарських культур дозволила отримати фундаментальну інформацію про стан сільськогосподарських земель в Канаді. Наприклад, в 2011 р. інвентаризація включала в себе визначення посівних площ, які були занадто вологими для засадження сільськогосподарськими культурами. Отримані оцінки відрізнялись всього на 3% від інформації, наданої безпосередньо провінціями.

Для оперативної оцінки стану посівів AAFC розробляється система класифікації культур [14], яка дозволяє обробку великого обсягу даних. При цьому для отримання цифрових карт посівів виконується процес класифікації, що складається з наступних етапів:

- 1) Планування і отримання (зйомка) необхідних даних.
- 2) Попередня обробка даних: атмосферна корекція [14, 56], геометрична корекція [26, 43].
- 3) Визначення регіонів для класифікації.
- 4) Класифікація [15, 50].

Інформаційна система, що використовується Міністерством сільського господарства і продоволь-

ства Канади, дозволяє автоматично керувати процесами класифікації. При цьому в процесі класифікації використовується дворівнева ієрархічна схема, коли спочатку сільськогосподарські землі діляться на узагальнені класи, в межах яких пізніше виділяються підкласи. Класифікація виконується в три етапи. Спочатку оновлюється карта земного покриву NLWIS [26]. Далі створюється карта сільськогосподарських земель і пасовищ. І лише після того виконується картографування сільськогосподарських посівів та оцінка їх площі.

1) Постобробка результатів класифікації (фільтрація). Цей крок підвищує загальну точність класифікації приблизно на 5%.

2) Розповсюдження даних. Дані розповсюджуються в растровому форматі у відповідній проекції UTM для території окремих провінцій. Їх можна завантажити з FTP-сервера Міністерства сільського господарства і продовольства Канади AAFC [12].

На основі використання мультиспектральних даних (Landsat, SPOT, DMC, AWiFS і т. д.) можна класифікувати посіви, якщо дані будуть доступні в потрібні моменти часу. Якщо знімки захмарені, то точність класифікації може істотно знизитись. Щоб зменшити цей ризик і зменшити витрати на отримання певних оптичних даних, Міністерство сільського господарства і продовольства Канади працює над алгоритмами класифікації культур лише за радарними даними. Наприклад, для основних сільськогосподарських культур, таких як яра пшениця і горох, точність більше 85% може бути досягнута на початку вегетаційного сезону (початок липня), використовуючи дані RADARSAT-2 [53] або RADARSAT Constellation з більшою зоною покриття [9]. При цьому оптичні дані для класифікації можуть не використовуватись [11, 46].

Щороку департамент AAFC забезпечує збір десятків тисяч точок для ідентифікації посівів по всій країні. Ці точки використовуються в якості навчальних або довідкових даних, і мають бути пов'язані з контурами полів. Оцифровка зображень з високою роздільною здатністю потребує багато зусиль. Для того, щоб скоротити час, відведений для виконання цього завдання, розробляється автоматичний метод, заснований з використанням кадастрових даних та сегментації знімку [12].

Використання супутникової інформації на глобальному рівні

На сьогодні варто виділити також декілька глобальних розробок та ініціатив, пов'язаних з використанням супутникової інформації спостереження Землі для розв'язання задач моніторингу сільськогосподарських земель на глобальному або регіональному рівнях. В Європейському Союзі в операційному режимі використовується система MARS [47]. В межах MARS розроблено систему CGMS для оцінки стану сільськогосподарських культур та прогнозування врожайності.

Протягом останніх десяти років в Росії на рівні міністерства сільськогосподарства активно впроваджується система агромоніторингу “Вега”, що дозволяє здійснювати оперативний моніторинг як на регіональному рівні, так і на рівні окремих полів та господарств. Аналогічна інформаційна система підтримується на державному також у Республіці Казахстан.

Спостерігається тенденція глобалізації сервісів моніторингу сільськогосподарських земель в світі, зокрема в програмах GEO-GLAM [16], US GEO-GLAM [62] та AMIS [4]. В межах програми GEO-GLAM здійснюється побудова масок основних сільськогосподарських культур по всьому світу, оцінка стану рослинності та надається прогноз щодо подальшого розвитку сільськогосподарських культур. Для цього використовуються супутникові дані та продукти MODIS. Менеджмент цієї системи здійснює університет штату Меріленд (США). З даною програмою тісно пов'язана міжміністерська ініціатива AMIS, призначена для моніторингу глобальних ринків сільськогосподарської продукції. В якості вхідних даних система AMIS використовує дані системи GEO-GLAM.

На даний момент можна констатувати той факт, що побудова глобальних систем здійснюється в межах міжнародних проєктів [31, 34, 39–41, 54]. Комітет GEO лише надає загальний контекст та напруги цього розвитку.

Україна

На даний момент в Україні на державному рівні супутникові дані для здійснення агромоніторингу не використовуються. Можна навести приклади окремих розроблених пілотних інформаційних систем агромоніторингу, які на даний момент є лише ілюстрацією деяких можливостей розв'язання цієї важливої задачі [1, 5, 28, 29 30, 32, 33, 35]. Декілька пілотних проєктів знаходяться на стадії виконання [2, 3, 36].

В той же час в Україні встановлені тісні зв'язки з провідними організаціями у світі, такими як центр JRC Єврокомісії, та є досвід розробки і адаптації методів та технологій здійснення агромоніторингу, які впроваджуються в Європі та інших країнах [27, 44, 55]. Задача впровадження технологій супутникового моніторингу в державне управління ускладнюється відсутністю в Україні законодавчої бази для виконання таких робіт.

Висновки

На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

На даний момент супутникові дані та інша геопросторова інформація є вагомим джерелом інформації про використання земель по всьому світу. В

багатьох розвинених регіонах (Північна Америка, Європа) розроблена комплексна правова підтримка такої діяльності. Більшість геопросторових сервісів і даних щодо фактичного використання земель базується на використанні безкоштовних даних, які на даний момент є найбільшим джерелом актуальної інформації про поверхню Землі і, зокрема, про сільськогосподарські землі. Як правило, точність геопросторових продуктів досягає 85—95% в залежності від сільськогосподарської культури, що розглядається. В процесі здійснення моніторингу фактичного використання земель використовуються також дані кадастрових та інших систем, які підтримуються відомчими підрозділами.

Література

1. Інформаційні технології глибинного машинного навчання для аналізу змін земного покриття / Н. М. Куссіль [та ін.]. — Доповіді Національної Академії Наук України. — 2016. — №8. — С. 26–32. — DOI: 10.15407/dopovidi2016.08.000.
2. Супутниковий агромоніторинг в Україні: Міжнародний симпозіум за проєктом Європейського космічного агентства “Sentinel-2 for Agriculture” / Н. М. Куссіль [та ін.]. — Вісник Національної академії наук України. — 2016. — № 12. — С. 99–104. — DOI: doi.org/10.15407/visn2016.12.099.
3. Супутниковий агромоніторинг в Україні: перспективи участі в європейських програмах / Н. М. Куссіль [та ін.]. — Вісник Національної академії наук України. — 2016. — № 2. — С. 96–102. — DOI: 10.15407/visn2016.02.096.
4. AFC Annual Crop Inventory. Status and Challenges / T. Fiset [et al.]. — Second International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics). — 2013. — DOI: 10.1109/Argo-Geoinformatics.2013.662192.
5. Agricultural Market Information System [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.amis-outlook.org/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
6. Annual Space-Based Crop Inventory for Canada: 2009–2014 / T. Fiset [et al.]. — IGARSS 2014. — 2014. — P. 5095–5098. — DOI: 10.1109/IGARSS.2014.6947643.
7. Assessing tree cover in agricultural landscapes using high-resolution aerial imagery / G. Liknes [et al.]. — The Journal of Terrestrial Observation. — 2010. — Vol. 2, No. 1. — P. 38–55.
8. Bakan G.M. Fuzzy ellipsoidal filtering algorithm of static object state / G. M. Bakan, N. N. Kussul // Problemy Upravleniya I Informatiki (Avtomatika). — 1996. — № 5. — P. 77–92.
9. CAP at a glance [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://ec.europa.eu/agriculture/cap-overview/index_en.htm (23.02.2017). — Назва з екрану.
10. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects / C. Song [et al.]. — Remote Sensing of Environment. — 2001. — Vol. 75, No. 2. — P. 230–244.

11. Compact polarimetry overview and applications assessment / F.J. Charbonneau, [et al.]. — Canadian Journal of Remote Sensing / Journal canadien de Télédétection. — 2010. — Vol. 36. — No. 2. — P. 298–315. — DOI: 10.5589/m10-062.
12. Comparison of biophysical and satellite predictors for wheat yield forecasting in Ukraine / A. Kolotii [et al.]. — International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences. — 2015. — Vol. XL-7/W3. — P. 39–44. DOI:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-39-2015.
13. Congalton R. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and applications / Congalton R. G., Green K. // Lewis Publishers, Boca Raton, Fla. — 1999.
14. Corn and soybean mapping in the United States using MODIS time-series data sets / J. Chang, [et al.]. — Agronomy Journal. — 2007. — Vol. 99. — No. 6. — P. 1654–1664.
15. Crop area estimation in Ukraine using satellite data within the MARS project 2012 / N. Kussul, [et al.]. — IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). — 2012. — P. 3756–3759. — DOI:10.1109/IGARSS.2012.6350500.
16. Deep Learning Approach For Large Scale Land Cover Mapping Based On Remote Sensing Data Fusion / N. Kussul [et al.]. — Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International — 2016. — P. 198–201. — DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7729043.
17. Efficiency Assessment of Multitemporal C-Band Radarsat-2 Intensity and Landsat-8 Surface Reflectance Satellite Imagery for Crop Classification in Ukraine / S. Skakun [et al.]. — 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.
18. Flood mapping with satellite images and its web service / J. Shan [et al.]. — Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. — 2010. — Vol. 76. — No. 2. — P. 102–104.
19. Friedl M. A. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data / M. A. Friedl, C. E. Brodley // Remote Sensing of Environment. — 1997. — Vol. 61, No. 3. — P. 399–409.
20. Group on Earth Observations [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.earthobservations.org/geoglam.php> (23.02.2017). — Назва з екрану.
21. Guidance document (campaign 2016) for On-The-Spot Checks (OTSC) and area measurement according to articles 24, 25, 26, 27, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 of Regulation (EU) 809/2014 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
22. Guidance document (revised version after simplification) on aid applications and payment claims referred to in article 72 of Regulation (EU) 1306/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/5/58/DS-DSCG-2014-39_aid_application_guidance_final_rev1_clean.pdf (23.02.2017). — Назва з екрану.
23. Guidance document (revised version after simplification) on the establishment of the EFA layer referred to in article 70(2) of Regulation (EU) 1306/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/4/4b/DSCG-2014-31_EFA-layer_FINAL-2015.doc.pdf (23.02.2017). — Назва з екрану.
24. Guidance document (revised version after simplification) on the establishment of the EFA layer referred to in article 70(2) of Regulation (EU) 1306/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/9/98/DSCG-2014-32_FINAL_Rev2_FINAL_OTSC_guideline_2016_clean.pdf (23.02.2017). — Назва з екрану.
25. Guidance document on the implementation by Member States of permanent grassland provisions in the context of greening [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/0/05/DS-EGDP-2015-02_rev4_clean.pdf (23.02.2017). — Назва з екрану.
26. Guidance document on the Land Parcel Identification System (LPIS) under articles 5, 9 and 10 of commission delegated regulation (eu) no 640/2014 and on the establishment of the efa-layer referred to in article 70(2) of regulation (eu) no 1306/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/c/c6/DSCG-2014-33_FINAL_Rev_3_FINAL_LPIS_guideline_2016_clean.pdf (23.02.2017). — Назва з екрану.
27. Guidance document on the Land Parcels Identification System (LPIS) under articles 5, 9 and 10 of Commission Delegated Regulation (EU) 640/2014 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/a/ab/TG_Check_Crop_Diversification.pdf (23.02.2017). — Назва з екрану.
28. In-season crop inventory using multi-angle and multi-pass RADARSAT-2 SAR data over the Canadian prairies / J. Shang [et al.]. — SPIE - The International Society for Optical Engineering. — 2011. — Vol. 8156, Article No. 815604. — DOI: 10.1117/12.8942112011.
29. Integrated Administration and Control System (IACS) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://ec.europa.eu/agriculture/direct-support/iacs/index_en.htm (23.02.2017). — Назва з екрану.
30. Joint Research Centre [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/index.php/Main_Page (23.02.2017). — Назва з екрану.
31. Kauth R.J. The Tasseled Cap - A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT / R. J. Kauth, G. S. Thomas // Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, Indiana. — 1976. — P. 41–57.
32. Land administration in the agricultural sector under INSPIRE [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.eurocadastre.org/pdf/rome_december08/presentations/7_land_administration_agriculture_inspire_framework.pdf (23.02.2017). — Назва з екрану.
33. Land Cover Changes Analysis Based on Deep Machine Learning Technique / N. Kussul [et al.]. — Journal of

- Automation and Information Sciences. — 2016. — P. 42–54. — DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v48.i5.40.
34. Land Remote Sensing Policy Act of 1992 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.congress.gov/bill/102nd-congress/senate-bill/2297> (23.02.2017). — Назва з екрану.
35. Large-Scale Classification of Land Cover Using Retrospective Satellite Data / M.S. Lavreniuk [et al.]. — Cybernetics and Systems Analysis. — 2016. — Vol 52. — No 1. — P. 127–138. — DOI: 10.1007/s10559-016-9807-4.
36. Mapping plant functional types from MODIS data using multisource evidential reasoning / W. Sun, S. Liang [et al.]. — Remote Sensing of Environment. — 2008. — Vol. 112. — No. 3. — P. 1010–1024.
37. Methodology for a Canadian agricultural land cover classification / T. Fiset [et al.]. — 1st International Conference on Object-based Image Analysis, Salzburg University, Austria, 4–5 July 2006. — 2006.
38. Monitoring Agricultural Resources [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ec.europa.eu/jrc/en/mars>. (23.02.2017). — Назва з екрану.
39. Monitoring US agriculture: the US Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service, Cropland Data Layer Program / C. Boryan [et al.]. — Geocarto International. — 2011. — Vol. 26. — No. 5. — P. 341–358. — DOI: 10.1080/10106049.2011.562309.
40. Mueller R. Categorized Mosaicked Imagery from the National Agricultural Statistics Service Crop Acreage Estimation Program. Available on the CD/ R. Mueller // Proceedings of the ASPRS 2000 Conference. — 2000.
41. Opening the Landsat Archive/Product Specifications [Електронний ресурс]. — Режим доступу: USGS, 2010. Available from: http://landsat.usgs.gov/products_data_at_no_charge.php (23.02.2017). — Назва з екрану.
42. Pal M. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification / M. Pal, P. M. Mather // Remote Sensing of Environment. — 2003. — Vol. 86. — No. 4. — P. 554–565.
43. Parcel based classification for agricultural mapping and monitoring using multi-temporal satellite image sequences / N. Kussul [et al.]. — The International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International. — 2015. — P. 165–168. — DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7325725.
44. Parcel-based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data / N. Kussul [et al.]. — 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.
45. Regional Retrospective High Resolution Land Cover For Ukraine: Methodology And Results / M. Lavreniuk [et al.]. — International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015 (IGARSS 2015), № 15599383. — P. 3965–3968. DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326693.
46. Regional scale crop mapping using multi-temporal satellite imagery / N. Kussul [et al.]. — International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences. — 2015. — P. 45–52. — DOI:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-45-2015.
47. Remote Sensing and Image Interpretation / T. M. Lillesand [et al.]. — Wiley & Sons, New York. — 1994. — P. 523–525.
48. Seffrin R. Evaluating the accuracy of 2005 multitemporal TM and AWiFS imagery for cropland classification of Nebraska. / R. Seffrin // ASPRS 2007, Annual Conference, 7–11 May 2007, Tampa, Florida.
49. Subtitle VI — Earth Observations. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/public_law_111-314-title_51_national_and_commercial_space_programs_dec._18_2010.pdf (23.02.2017). — Назва з екрану.
50. Technical Guidance [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marswiki.jrc.ec>. (23.02.2017). — Назва з екрану.
51. Technical Guidance document on the On-The-Spot Check of Crop Diversification requirements [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
52. Technical Guidance document on the On-The-Spot Check of Ecological Focus Areas requirements [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
53. Technologies for Satellite Data Processing and Management Within International Disaster Monitoring Projects / N. Kussul [et al.]. — In. Grid and Cloud Database Management Grid — Fiore, S.; Aloisio, G. (Eds.). — 2011, Springer — P. 279–306.
54. TerraSAR-X and RADARSAT-2 for crop classification and acreage estimation / H. McNairn [et al.]. — International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). — 2009. — P. 898–901.
55. The use of satellite data for agriculture drought risk quantification in Ukraine / S. Skakun [et al.]. — Geomatics, Natural Hazards and Risk. — 2015. — P. 1–18. — DOI: 10.1080/19475705.2015.1016555.
56. The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project / N. Kussul [et al.]. — IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). — 2014. — P. 1497–1500.
57. Towards operational radar-only crop type classification: comparison of a traditional decision tree with a random forest classifier / B. Deschamps [et al.]. — Canadian Journal of Remote Sensing. — 2012. — Vol. 38. — No. 1. — P. 60–68.
58. US GEOGLAM [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.usgeoglam.org/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
59. Use of land surface remotely sensed satellite and airborne data for environmental exposure assessment in cancer research / S.K. Maxwell [et al.]. — Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. — 2010. — Vol. 20. — No. 2. — P. 176–185.
60. Use of the Earth Observing One (EO-1) Satellite for the Namibia SensorWeb Flood Early Warning Pilot / D. Mandl

- [et al.]. — IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2013. — Vol. 6. — No 2. — P. 298–308.
61. Validation methods for regional retrospective high resolution land cover for Ukraine / M. Lavreniuk [et al.]. — Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International — 10–15 July 2016. — P. 4502–4505. — DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7730174.
62. Water resource quality monitoring using heterogeneous data and high-performance computations / A. N.Kravchenko [et al.]. — Cybernetics and Systems Analysis. — 2008. — Vol. 44. — No. 4. — P. 616–624.

СОСТОЯНИЕ МОНИТОРИНГА ФАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В ВЕДУЩИХ СТРАНАХ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

А. Ю Шелестов, Б. Я. Яйлимов

В работе представлены результаты анализа использования спутниковых данных для мониторинга сельскохозяйственных земель в разных странах. С практической точки зрения проанализирована доступность спутниковых данных и общепринятых подходов к получению и обработке данных.

Ключевые слова: Land Cover, ISO, JRC, IACS, CDL, GEO-GLAM, мониторинг сельскохозяйственных земель, классификация спутниковых данных

THE STATE OF ACTUAL LAND USE MONITORING IN THE LEADING COUNTRIES WITH USE OF SATELLITE DATA

Andrii Shelestov, Bohdan Yailymov

This paper provides the results of the analysis of satellite data usage for monitoring the use of agricultural land in different countries. Satellite data availability, generic data processing and retrieval approaches were analyzed from practical point of view.

Keywords: Land Cover, ISO, JRC, IACS, CDL, GEO-GLAM, monitoring of agricultural land, classification of satellite data

УДК 550.4:574.3

Оцінка потенційного впливу на поверхневі води вод кар'єрного водовідливу при планованій розробці відкритим способом Біланівського залізрудного родовища

О. Ю. Тищенко, Ю. Є. Тищенко*

ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України", Київ, Україна

На основі даних про хімічний склад та запаси підземних вод методом балансових розрахунків встановлено, що скиди вод кар'єрного водовідливу при запланованій розробці Біланівського залізрудного родовища у Дніпродзержинське водосховище не призведуть до помітних екологічних наслідків. Інші можливі сценарії скидання кар'єрних вод пов'язані зі значними змінами мінералізації і сольового складу водотоків (р. Псел — зростання удвічі, р. Рудька — у 12 разів) і повинні розглядатися як неприйнятні. Хід робіт повинен супроводжуватися регулярним гідрогеологічним, гідрохімічним та дистанційним (аерокосмічним) моніторингом.

Ключові слова: баланс, мінералізація, водоносні горизонти, залізрудне родовище, моніторинг

© Ю. Є. Тищенко, О. Ю. Тищенко. 2017

Вступ

Стійкість та збалансованість природно-техногенних систем у видобувній галузі є важливим елементом екологічної безпеки держави. За масштабами втручання видобувна промисловість є найбільшим джерелом впливу на геологічне середовище.

Запланована розробка відкритим способом Біланівського родовища залістистих кварцитів у Полтавській області буде супроводжуватися значним впливом на всі компоненти природного середовища, зокрема — на поверхневі та підземні води.

Вплив на водні ресурси гірничорудної галузі відбувається шляхом розкриття гідрогеологічних горизонтів при розробці корисних копалин кар'єрним способом як внаслідок порушення і вилучення водовміщуючих шарів, так і забруднення підземних вод. Найбільшою екологічною і технічною проблемою є питання утилізації вод кар'єрних водовідливів. У цьому відношенні Біланівське родовище є показовим з точки зору необхідності вирішення зазначених проблем.

На етапі підготовки до початку активної фази робіт є актуальним наукове опрацювання та прогнозне оцінювання очікуваних екологічних наслідків розробки Біланівського кар'єру для уникнення неприйнятних екологічних збитків та визначення шляхів їх пом'якшення. За результатами цього оцінювання буде запропоновано впровадження системи комплексного геоecологічного моніторингу, який повинен включати регулярні гідрогеологічні, гідрохімічні та аерокосмічні спостереження.

Постановка задачі та вихідні дані

Біланівське родовище одне з найбільших в Україні за запасами залізної руди, які оцінюються у 1.7 млрд. тон [2, 4, 7]. Його розробка — тривалий поетапний процес. Гідродинамічні параметри водоносних горизонтів змінюватимуться поступово, що дає можливість контролювати процес і своєчасно вносити необхідні зміни, якщо це буде обумовлено недопустимим порушенням екологічних обмежень чи іншими чинниками, які вимагають реагування.

Метою дослідження є визначення балансовим методом змін гідрохімічного складу поверхневих водних об'єктів які будуть спричинені внаслідок скидання кар'єрних вод.

Вихідні дані для дослідження отримані шляхом узагальнення фондових матеріалів присвячених розвідці та вивченню Біланівського родовища [2, 4], аналізу проектної документації на будівництво Біланівського гірничозбагачувального комбінату [6] та при виконанні науково-дослідних робіт договірної тематики ДУ "ІГНС НАН України" [1, 3, 5]. Визначення хімічного складу підземних і поверхневих вод у зоні впливу родовища виконувалось під час польових та лабораторних робіт у 2013 та 2016 роках.

Заплановане до розробки відкритим (кар'єрним) способом Біланівське родовище залістистих кварцитів розташоване на першій та другій надзаплавних терасах Псла у водозборі його лівої притоки р. Рудька у південно-західній частині Полтавської області. В межах цієї території є землі сільськогосподарського призначення та сільські населені пункти.

У геоструктурному відношенні район відноситься до північно-східного схилу Українського щита, до зони його переходу в Дніпровсько-Донецьку западину.

У будові цієї зони виділяються два структурні яру-

* E-mail: fu-risk@ukr.net*

си — нижній, який представлений докембрійськими кристалічними породами, і верхній, складений осадовими відкладами кайнозою. Докембрійські породи покриті чохлом осадових відкладів потужністю від 84 м в південній, до 115 м у північній частині родовища [4]. Нижній структурний ярус має складчасто-блокову будову.

В межах району виділяється ряд синклінальних і антиклінальних структур північ–північно-східного та північно-західного простягання, а також розривні порушення тих же напрямів [4]. Біланівське родовище залізистих кварцитів розташовано в межах Галещинської синкліналі, яка, в свою чергу, розділена Біланівською антикліналією на дві синкліналі більш високого порядку. Загальне падіння порід західне, під кутами 15°...65°, місцями 75°. В межах цієї синклінальної структури простежені Галещинський, Біланівський, Ревовський (діагональний) та інші розломи, які січуть товщу порід криворізької серії у північ–північно-східному напрямку [2, 4]. Рудоносна частина Біланівського родовища складається з чотирьох покладів магнетитових і кумінгтоніт-магнетитових кварцитів [2, 4, 7].

Згідно загальноприйнятій схемі гідрогеологічного районування території України, район розташований на південно-західній окраїні Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну.

Тут виділяються наступні водоносні горизонти, що містять прісні підземні води [1, 3, 5, 6]:

- водоносний горизонт середньо-верхньочетвертинних алювіальних відкладів;
- водоносний горизонт харківських відкладів;
- водоносний горизонт бучацьких відкладів;
- водоносний горизонт тріщинуватих докембрійських кристалічних порід.

Водоносний горизонт середньо-верхньочетвертинних алювіальних відкладів розвинутий в межах надзаплавної тераси р. Псел. Водовміщуючі породи представлені дрібнозернистими, кварцовими, сірими пісками та супісками. Покрівлею горизонту є одновікові суглинки, підшвою — харківські відклади. Глибина залягання покрівлі горизонту 4–8,5 м. Потужність водовміщуючих порід 6,5–8 м. Горизонт безнапірний. Глибина статичного рівня води 0,2–3,7 м.

Продуктивність свердловин складає від 1,75–4,2 $\text{дм}^3/\text{с}$ при зниженні 1,1–3,14 м.

Хімічний склад вод горизонту досить строкатий. Переважають хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієво-натрієві, з вмістом сухого залишку 0,939–1,33 $\text{г}/\text{дм}^3$.

Водоносний горизонт харківських відкладів олігоцену розвинений повсюдно. Водовміщуючими породами є кварцово-глауконітові, дрібнозернисті, глинисті сірувато-зелені пісковики, які залягають прошарками серед глин та алевролітів. Глибина залягання водоносного горизонту 30–40 м. Потужність водовміщуючих порід досягає 4,5–8 м.

Водоносний горизонт слабонапірний. Величина

напору складає до 30 м. Глибина статичного рівня води 0,7–4,5 м. Продуктивність свердловин складає 0,5–1,23 $\text{дм}^3/\text{с}$ при зниженні 16,75–38,57 м.

Води горизонту з сухим залишком 2,42–6,46 $\text{г}/\text{дм}^3$. За хімічним складом вони є хлоридно-натрієві.

Водоносний горизонт бучацьких відкладів розвинений повсюдно. Водовміщуючими породами є дрібнозернисті глауконітово-кварцові, зеленувато-сірі, глинисті піски. Покрівлею горизонту є мергелі кийської світи, підшвою кристалічні породи докембрію. Глибина покрівлі 61,4–83,5 м. Потужність водовміщуючих порід 6–31,3 м. Горизонт напірний, величина напору досягає 73,8–81,2 м, статичний рівень встановлюється на глибині + 1,2–11 м, дебіт свердловин 0,37–2,41 $\text{л}/\text{с}$ при зниженні 10–61,3 м.

За хімічним складом води горизонту — хлоридно-натрієві з вмістом сухого залишку 6,19–9,77 $\text{г}/\text{дм}^3$.

Водоносний горизонт тріщинуватих докембрійських кристалічних порід є на найменш вивченим. Горизонт напірний, величина напору 55–115 м, але в більшості випадків не перевищує 80 м. Дебіти свердловин у гранітах не перевищують соті частини $\text{дм}^3/\text{с}$, у породах криворізької серії, змінюються від частин $\text{дм}^3/\text{с}$ до 1,25–6,99 $\text{дм}^3/\text{с}$.

Висхідний рух підземного потоку визначає якість підземних вод водоносних горизонтів. Напірні водоносні горизонти (бучацький, межигірський та тріщинуватої зони кристалічних порід) на території родовища містять солонуваті води з мінералізацією 6,0–8,0 $\text{г}/\text{дм}^3$ хлоридно-натрієвого типу.

Результати досліджень

При розробці Біланівського родовища у водоносних горизонтах утворюються депресійні воронки різного радіусу: 1,5–2 км у горизонті алювіальних відкладів, 6–8 км у горизонті відкладів бучацької світи [6]. Статичні рівні інших водоносних горизонтів також будуть значно понижені.

Розкриття кар'єру супроводжуватиметься трансформацією хімічного складу підземних вод внаслідок їх змішування через порушення шарів водовміщуючих порід. На період закінчення розкривних робіт прогностичний хімічний склад дренажних вод четвертинного водоносного горизонту досягне 2,5–4,0 $\text{г}/\text{дм}^3$ [6]. На період закінчення будівництва сформуються води кар'єрного водовідливу з мінералізацією 4,6–6,8 $\text{г}/\text{дм}^3$ [6].

Радикальні зміни гідрохімічного режиму відбуватимуться лише в межах активної зони впливу кар'єрів й нівелюватимуться при змішуванні потоків підземних вод різних джерел в кінцевому пункті накопичення кар'єрних і дренажних вод.

У рамках вивчення комплексного впливу на довкілля розробки Біланівського кар'єру побудована модель впливу компонентів природного та техногенного середовища, яка відображає їх взаємодію з водним середовищем. Схема взаємодії представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурні залежності природного і техногенного середовищ у системі «Біланівське родовище — водні ресурси»

Оскільки на території розробки кар'єру відсутні об'єктивні умови створення штучних водойм-накопичувачів, існують такі ймовірні сценарії скиду кар'єрних вод у Дніпродзержинське водосховище Дніпра: транзитом через р. Рудька та р. Псел, лише через р. Псел, напругу через кар'єри Єристівського та Полтавського ГЗК (рис. 2.).

через системи водовідведення Єристівського та Полтавського ГЗК (див. рис. 2), у Дніпродзержинському водосховищі вирівнювання мінералізації води відбуватиметься поступово, а у місці скиду утворюватиметься шлейф підвищеної мінералізації площею до 10 км^2 . Вся площа поверхні водосховища складає 283 км^2 , повний об'єм 2.45 км^3 , три-



Рис. 2. Варіанти скидів з Біланівського кар'єру

Екологічна неприйнятність двох перших варіантів є очевидною, тому вони розглядаються винятково гіпотетично.

На рис. 3 наведена схема гіпотетичних варіантів скиду кар'єрних вод.

На основі наявних даних виконані прогнози балансові розрахунки мінералізації води поверхневих водотоків для різних багаторічних та сезонних умов водності на різних стадіях розробки кар'єру згідно проекту (табл.).

При схемі скиду, яка передбачена проектом [6] —

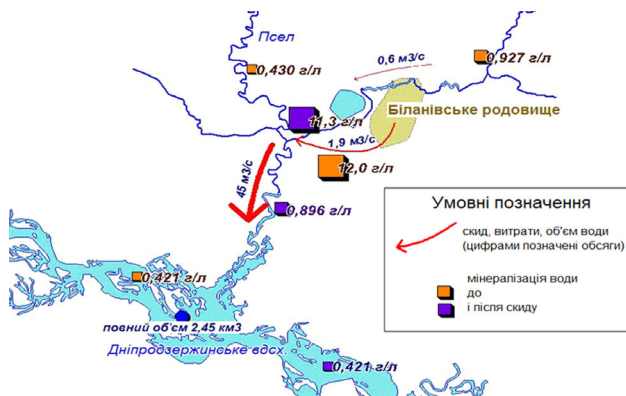


Рис. 3. Схема скиду кар'єрних вод з Біланівського родовища через річкову мережу.

валість водообміну складає приблизно 1 тиждень у залежності від сезону та водності року.

За нашими розрахунками усереднена мінералізація води у місці скиду у Дніпродзержинському водосховищі складе від 438 до 456 мг/дм^3 у залежності від стадії розробки родовища. У період межени, особливо маловодного року мінералізація у місці скиду тимчасово може перевищити 1000 мг/дм^3 . Скидання мінералізованих вод кар'єрного водовідливу за проектом виконується при обов'язковому контролі хімічного складу води і, у випадку ризику забруднення водних ресурсів Дніпра, повинне бути призупинене.

Постадійна розробка кар'єру повинна супроводжуватися комплексним геоecологічним моні-

Розрахунок змін водності та мінералізації води поверхневих водних об'єктів внаслідок імовірних скидів вод кар'єрного водовідливу Біланівського ГЗК

Стадія розробки кар'єру	Скид			Водний об'єкт									
	Обсяг скиду		Мінералізація кар'єрних вод <i>мг/дм³</i>	Витрата води. <i>м³/с</i>					Мінералізація. <i>мг/дм³</i>				
				Для періоду водності		Багаторічна			Для періоду водності		Багаторічна		
	<i>м³/добу</i>	<i>м³/с</i>		межінь	водопілля	рік мінімальної водності	рік максимальної водності	середня багаторічна	межінь	водопілля	мінімальна	максимальна	усереднена
Кар'єрні води				р. Рудька									
до скиду													
0-й рік	0	0		0.1	3.3	0.4	1.2	0.6	1200	600	400	1800	927
після скиду													
6-й рік	16456	1.905	4400	2.005	5.205	2.305	3.105	2.505	4240	1991	3706	3395	3568
16-й рік	14156	1.638	5500	1.738	4.938	2.038	2.838	2.238	5253	2226	4499	3936	4274
26-й рік	10653	1.233	5600	1.333	4.533	1.633	2.433	1.833	5270	1960	4326	3726	4070
36-й рік	10599	1.227	5700	1.327	4.527	1.627	2.427	1.827	5361	1982	4397	3771	4132
Кар'єрні води				р. Псел									
до скиду													
0-й рік	0	0		22	110	28	80	52	749	632	450	950	700
після скиду													
6-й рік	16456	1.905	4400	23.9	111.9	29.9	81.9	53.9	1040	696	702	1030	831
16-й рік	14156	1.638	5500	23.6	111.6	29.6	81.6	53.6	1078	703	729	1041	847
26-й рік	10653	1.233	5600	23.2	111.2	29.2	81.2	53.2	1006	687	667	1021	813
36-й рік	10599	1.227	5700	23.2	111.2	29.2	81.2	53.2	1010	688	670	1022	815
Кар'єрні води				Дніпро (Дніпродзержинське ввсх.)									
до скиду													
0-й рік	0	0		6000	18000	9500	15850	12700	400	600	340	550	421
після скиду													
6-й рік	16456	1.905	4400	6002	18002	9502	15852	12702	401	600	341	550	422
16-й рік	14156	1.638	5500	6002	18002	9502	15852	12702	401	600	341	551	422
26-й рік	10653	1.233	5600	6001	18001	9501	15851	12701	401	600	341	550	422
36-й рік	10599	1.227	5700	6001	18001	9501	15851	12701	403	601	342	551	422

100	прісні води
100	солонуваті води

торингом, який, крім гідрохімічних та гідрогеологічних, включатиме дистанційні (аерокосмічні) методи спостережень. Таке поєднання забезпечує ефективний контроль за дотриманням регламентів гірничих робіт та дозволяє коригувати їх проведення у випадку необхідності оперативно-го втручання.

Висновки

Визначено оціночні кількісні показники очікуваної мінералізації води поверхневих водних об'єктів внаслідок скиду вод кар'єрного водовідливу у зоні впливу Біланівського залізрудного родовища, яке заплановане до розробки відкритим способом. Показано, що варіант скиду, передбачений проектом розробки родовища, є найменш екологічно шкідливим і не призведе до чутливих наслідків для водного середовища при умові правильної організації робіт та контролю за їх виконанням. Для гарантованого забезпечення екологічної безпеки проведення гірничих робіт необхідний постійний комплексний гео-екологічний моніторинг, який поєднуватиме гідро-геологічні спостереження, контроль якості води, що скидається та у водних об'єктах, а також регулярні аерокосмічні спостереження за ходом вскришних робіт та експлуатації кар'єру.

Література

1. Вивчення можливого впливу уранової мінералізації Кременчуцького рудопоя на формування природного радіаційного фону території Біланівського гірничо-збагачувального комбінату : звіт про НДР (заклю-

- ний) / кер. В. Г. Верховцев; викон.: Ю. Є. Тищенко [та ін.] Держ. установа "Ін-т геохімії навкол. середовища НАН України". — К., 2013. — 197 с. — № ДР 0113U-003881— Інв. № б/н. 7.
2. Геологічний звіт про геологічне довивчення та відбір напівпромислової технологічної проби з залізистих кварцитів Біланівського родовища : звіт (заключний) / викон. Кременчуцька геол. розв. експедиція. — Кременчук, 2011. — 133 с.
3. Гідрогеохімічне обстеження водних об'єктів території Біланівського гірничо-збагачувального комбінату, Полтавська область : звіт про НДР (заключний) / кер. В. Г. Верховцев; викон.: Ю. Є. Тищенко [та ін.] Держ. установа "Ін-т геохімії навкол. середовища НАН України". — К., 2013. — 75 с. — № ДР 0113U004908— Інв. № б/н. 8.
4. Звіт про детальну розвідку Біланівського родовища залізистих кварцитів, виконану Кременчуцькою ГРЕ в 1975–1979 рр. : звіт (заключний) / викон. Кременчуцька геол. розв. експедиція. — Кременчук, 1980. — в 23-х томах.
5. Натурні радіогео-екологічні дослідження та оцінка ризиків, пов'язаних з радіаційною небезпекою при розробці Біланівського залізрудного родовища, Полтавська область : звіт про НДР (заключний) / кер. В. Г. Верховцев; викон.: Ю. Є. Тищенко [та ін.] Держ. установа "Ін-т геохімії навкол. середовища НАН України". — К., 2012. — 226 с. — № ДР 0112U003799— Інв. № б/н. 6.
6. Розробка Біланівського родовища залізних руд. Техніко-економічне обґрунтування. Оцінка впливу на навколишнє середовище : звіт про ОВНС / кер. О. О. Дмитрієва; викон. Український НДІ екол. проблем. — Х., 2012. — Т. 1–2. — 494 с. 5.
7. Семененко Н. П. Железисто-кремнистые формации Украинского щита / Н. П. Семененко. — К.: Наук. думка, 1978. — 367 с. Т. 2. Докембрий III. 1.

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ ВОД КАРЬЕРНОГО ВОДООТЛИВА ПРИ ПЛАНИРУЕМОЙ РАЗРАБОТКЕ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ БЕЛАНОВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

О. Ю. Тищенко, Ю. Е. Тищенко

На основе данных о химическом составе и запасах подземных вод методом балансовых расчетов установлено, что сбросы вод карьерного водоотлива при запланированной разработке Белановского железорудного месторождения в Днепродзержинское водохранилище не приведут к заметным экологическим последствиям. Другие возможные сценарии сброса карьерных вод связаны со значительными изменениями минерализации и солевого состава водотоков (р. Псел — рост вдвое, р. Рудько — в 12 раз) и должны рассматриваться как неприемлемые. Ход работ должен сопровождаться регулярным гидрогеологическим, гидрохимическим и дистанционным (аэрокосмическим) мониторингом.

Ключевые слова: баланс, минерализация, водоносные горизонты, железорудное месторождение, мониторинг

ASSESSMENT OF POTENTIAL IMPACT OF CAREER DRAINAGE ON SURFACE WATER DURING PLANNED DEVELOPMENT OF BILANIVO IRON ORE DEPOSIT

O. Yu. Tyshchenko, Yu. E. Tyshchenko

Based on the chemical composition and groundwater reserves by balance calculations was revealed that discharges water drainage career at planned development of Bilanivo iron ore deposits in the Dniprodzerginsky reservoir won't result in significant environmental impacts. Other possible scenarios of discharges of discharge water will associated with significant changes in salinity of streams (in Psel river — twice growth, in Rud'ka river — 12 growth) and should be viewed as unacceptable. The work should be accompanied by regular hydrogeological, hydrochemical monitoring and remote sensing (aerospace monitoring).

Keywords: balance, salinity, aquifers, iron ore deposit, monitoring

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

Дані Правила складено на основі “Вимог ВАК до наукової статті, опублікованої у фаховому виданні” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>) а також “Положення про електронні наукові фахові видання” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Представлення рукописів. Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: o.kudriashov@ujrs.org.ua. До рукопису додають акт експертизи установи де виконана робота, відомості про авторів (ім'я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступінь та вчене звання, повна офіційна назва установи, адреса, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (скан у форматі JPEG або PDF) (Додаток).

Загальні вимоги. Стаття може бути написана українською, російською або англійською мовами і повинна мати резюме (abstract), а також ключові слова (keywords). Анотація повинна висвітлювати результати досліджень а не перелік питань, що розглядаються у статті. Рекомендується розбити матеріал статті на розділи (вступ, висновки і т. ін.). У кінці рукопису розміщують список використаних джерел, а після нього — назву статті, ініціали та прізвища авторів, резюме та ключові слова двома мовами, (російською та англійською, українською та англійською, українською та російською, відповідно до мови статті).

Оформлення рукопису. Формат документу — Word 97–2003. Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Формат графічних додатків — TIFF, розрізнення (фактичне!) 300 dpi/inch у форматі документа. Формат документу — A4.

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті
- Ініціали та прізвище автора (авторів)
- Повна офіційна назва установи (установ) де виконано роботу, місто, країна (якщо автори працюють у різних установах *перед* назвою установи та *після* прізвища автора ставлять однакову цифру (верхній індекс)
- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед нею та після прізвища відповідального автора ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті (слово “Резюме” не пишуть)
- Ключові слова мовою статті
- Знак авторського права, ініціали та прізвища авторів. Рік
- Текст статті
- Список літератури (“Література”)
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме, а також ключові слова двома мовами окрім мови статті (мається на увазі, що йдеться про три мови: українську, російську та англійську)

Текст. Якщо Ви пишете українською мовою зверніть увагу на відмінювання прізвищ які закінчуються на приголосний або **о**. Адже жіночі прізвища не відмінюються, а чоловічі обов'язково відмінюються.

Формули набирайте у редакторі Microsoft Equation і не вставляйте їх у текст як зображення. Будь ласка, не користуйтеся програмою Math Type.

Таблиці. Треба всіляко прагнути аби таблиці мали книжну орієнтацію. Формат таблиць — MS Word.

Ілюстрації (знімки, діаграми, схеми) вмонтовують у документ Word і представляють їх *окремими файлами* у форматі TIFF. Розрізнення — 300 dpi/inch у масштабі публікації. Рисунки повинні мати умовні позначення, наприклад, у вигляді прямокутників з цифрою поруч. *Назву рисунка та пояснювальні надписи треба винести у текст.*

Література. Список літератури складають відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

Посилання на літературне джерело подають у квадратних дужках. У дужках вказують порядковий номер роботи, яку включено у список джерел.

Список літератури складають за абеткою (алфавітом).

ДОДАТОК

Авторська згода

Автори, направляючи рукопис у редакцію Українського журналу дистанційного зондування Землі, погоджуються з тим, що редакції передаються права на захист і використання рукопису (журналу переданого до редакції матеріалу, в т. ч. такі охоронювані об'єкти авторського права як фотографії автора, рисунки, схеми, таблиці тощо), в тому числі на відтворення у пресі та мережі Інтернет, на поширення, на переклад рукопису на будь-які мови, експорту та імпорту примірників журналу зі статтею авторів з метою розповсюдження, на доведення до загального відома. Зазначені вище права автори передають редакції без обмеження терміну і на території всіх країн світу без обмеження в т. ч. на території України.

Автори гарантують наявність у них виняткових прав на використання переданого редакції матеріалу. Редакція не несе відповідальності перед третіми особами за порушення даних авторами гарантій. За Авторами залишається право використання їх опублікованого матеріалу, його фрагментів і частин в особистих, у тому числі наукових і освітніх цілях. Права на рукопис вважаються переданими Авторами редакції з моменту підписання до друку випуску журналу, в якому він публікується. Передрук матеріалів, опублікованих у журналі, іншими фізичними та юридичними особами можливий тільки зі згоди редакції, з обов'язковим зазначенням випуску журналу, в якому було опубліковано матеріал.

Я, (відповідальний автор), підтверджую, що я достатньою мірою брав участь у розробці концепції/дизайну цієї роботи, аналізі даних, а також написанні рукопису для прийняття відповідальності за це. Я ознайомлений з остаточним варіантом рукопису і затвердив його для публікації. Жодного рукопису з аналогічним змістом не було опубліковано під моїм авторством і не розглядається для публікації в інших виданнях. Я також ознайомлений з вищенаведеними умовами опублікування рукопису та приймаю їх.

Дата, підпис

ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ

Данные Правила составлены на основе “Требований ВАК Украины к научной статье, опубликованной в научном издании” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а также “Положения об электронных научных изданиях” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Редакция рассматривает и принимает материалы на украинском, русском и английском языках с соблюдением авторских прав и этических норм научной публикации.

Представление рукописей. Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: o.kudriashov@ujrs.org.ua.

К рукописи прилагается акт экспертизы учреждения, где выполнена работа, сведения об авторах (учреждения, должности, научные степени и ученые звания), а также “Авторское соглашение” за подписью ответственного автора (скан в формате JPEG/PDF см. Приложение).

Общие требования. Статья может быть написана на украинском, русском или английском языках и должна иметь резюме (abstract), а также ключевые слова (keywords). Аннотация должна содержать основные результаты исследований, а не перечень вопросов, рассмотренных в статье. Рекомендуется разбить материал статьи на разделы (введение, выводы и т. д.). В конце рукописи размещают список использованной литературы, а после него — название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме и ключевые слова на двух языках (русском и английском, украинском и английском, или на украинском и русском, соответственно языку, на котором написана статья).

Оформление рукописи. Формат документа — Word-97–2003. Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch. Размер страницы — A4. Текст форматируют *без переносов*,

абзацных отступов, выступов и интервалов до и после строки.

Структура рукописи

- УДК
 - Название статьи (желательно без аббревиатур)
 - Инициалы и фамилия автора (авторов)
 - Официальное название учреждения (учреждений) где выполнена работа, город, страна
- Если авторы работают в разных учреждениях, *перед* названием учреждения и *после* фамилии ставят одинаковую цифру (верхний индекс)
- Электронный адрес или тел/факс ответственного автора. Перед ним и после фамилии ставят астериск (звездочку)
 - Резюме на языке статьи (слово “Резюме” не пишут)
 - Ключевые слова на языке статьи
 - © (знак авторского права), инициалы и фамилии автора/авторов. Год
 - Текст статьи
 - Список литературы (“Литература”)
 - Название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме (abstract), а также ключевые слова на двух языках (русском и английском; русском и украинском, украинском и английском соответственно).

Таблицы, формулы. Формат таблиц в тексте — MS Word. Формулы следует набирать в редакторе *Microsoft Equation* и не вставлять их в текст в виде изображений.

Пожалуйста, не набирайте формулы в программе Math Type.

Иллюстрации. Иллюстрации (снимки, схемы, диаграммы) вмонтируют в документ Word и представляют *отдельными файлами* в формате TIFF с разрешением не меньшим 300 dpi/inch в масштабе публикации. Рисунки должны иметь условные зна-

ки — например в виде “кирпичиков” с цифрой справа. *Название рисунка и легенду нужно вынести в текст.*

Литература. Список литературы составляют в соответствии с ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Ссылки на ли-

тературный источник в тексте подают в квадратных скобках. Список литературы делают *по алфавиту*. В алфавитном порядке сначала идут источники на русском и украинском языках, а после — на иных языках — в порядке латинского алфавита.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Авторское соглашение (документ должен быть подписан ответственным автором публикации)

Авторы, направляя рукопись в редакцию “Украинского журнала дистанционного зондирования Земли”, соглашаются с тем, что редакции передаются права на защиту и использование рукописи (переданного в редакцию журнала материала, в т. ч. такие охраняемые объекты авторского права как фотографии автора, рисунки, схемы, таблицы и т. д.), в том числе на воспроизведение в печати и в сети Интернет; на распространение; на перевод рукописи на любые языки; экспорта и импорта экземпляров журнала статьи авторов с целью распространения, на доведение до всеобщего сведения. Указанные выше права авторы передают редакции без ограничения срока их действия и на территории всех стран мира без ограничения, в т. ч. на территории Украины. Авторы гарантируют наличие у них исключительных прав на использование переданного редакции материала. Редакция не несет ответственности перед третьими лицами за нарушение данных авторами гарантий. За авторами сохраняется право использования опубликованного материала, его фрагментов и частей в личных, в том числе научных и образовательных целях. Права на рукопись считаются переданными авторами редакции с момента подписания в печать выпуска журнала, в котором он публикуется. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, другими физическими и юридическими лицами возможно только с согласия редакции, с обязательным указанием выпуска журнала, в котором был опубликован материал.

Я, (ответственный автор), подтверждаю, что я в достаточной степени участвовал в разработке концепции/дизайна этой работы, анализе данных, а также написании рукописи для принятия ответственности за это. Я ознакомлен с окончательным вариантом рукописи и утвердил его для публикации. Ни одна рукопись с аналогичным содержанием не была опубликована под моим авторством и не рассматривается для публикации в других изданиях. Я также ознакомлен с вышеуказанными условиями опубликования рукописи и принимаю их.

Дата, подпись



СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

NOVEL REMOTE SENSING METHODS
FOR MINERALS PROSPECTING



**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАН УКРАЇНИ
НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ**

**NATIONAL ACADEMY OF UKRAINE
INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES
SCIENTIFIC CENTRE FOR AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH**



СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

За редакцією В. І. Лялька і М. О. Попова

NOVEL REMOTE SENSING METHODS FOR MINERALS PROSPECTING

V. I. Lyalko and M. O. Popov (Eds)

КИЇВ 2017

KYIV 2017

О. Т. Азімов, С. І. Альперт, О. А. Апостолов, М. В. Артюшенко, О. І. Архіпов, А. Я. Буніна, А. І. Воробйов, Л. Ф. Даргейко, С. С. Дугін, С. М. Єсипович, Т. А. Єфименко, А. О. Козлова, Г. Б. Крилова, Л. П. Ліщенко, М. С. Лубський, В. І. Лялько, Т. А. Мельниченко, А. Г. Мичак, Н. В. Пазинич, В. М. Подорван, М. О. Попов, М. О. Свіденюк, О. В. Седлерова, С. Г. Семенова, С. А. Станкевич, К. Ю. Суханов, О. В. Титаренко, О. В. Томченко, М. В. Топольницький, О. Д. Федоровський, В. Є. Філіпович, А. В. Хижняк, А. Я. Ходоровський, З. М. Шпортюк, В. Г. Якимчук

Одним з актуальних завдань наук про Землю є поліпшення раціонального використання природних ресурсів, зокрема, через розроблення нових ефективних методів пошуку покладів корисних копалин на основі сучасних супутникових технологій.

В монографії наведено нові методи дистанційного пошуку корисних копалин різних типів, які розроблено в останні роки в Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України.

Наводяться і детально описуються теоретико-методичні основи інформаційного інтегрування даних багатоспектрального аерокосмічного знімання, польової спектрометрії і геолого-геофізичних даних при вирішенні завдань дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі і морському шельфі, нові ефективні методи дистанційного пошуку покладів вуглеводнів та виявлення родовищ рудної і нерудної сировини.

Більшість з розроблених методів дистанційного пошуку покладів вуглеводнів пройшла апробацію на ділянках Дніпровсько-Донецької западини, в окремих частинах Чорного моря. Розроблені методи дистанційного виявлення родовищ рудної та нерудної сировини були застосовані при прогнозуванні покладів поліметалевих руд на Українському щиті, при пошуку покладів гіпсу і гіпсоангідритів в різних регіонах України.

Розроблені методи дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі і шельфі можуть слугувати науковою основою при обґрунтуванні заходів раціонального природокористування та прийнятті інформаційних і управлінських рішень.

Автори сподіваються, що матеріали монографії будуть корисними вченим і спеціалістам-практикам, які працюють над вирішенням різноманітних природоресурсних завдань і впровадженням нових перспективних геологічних і геоінформаційних технологій.

One of the current challenges in Earth Sciences is the improvement of efficient natural resources management, essentially, through the development of novel advanced methods for minerals prospecting using modern satellite technologies.

A monograph highlights the novel remote sensing methods for mineral prospecting of different resources. These methods were developed in the Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, IGS NAS of Ukraine in recent years. It is presented and described the following ones theoretical and methodical fundamentals for the integration of multispectral satellite imagery, field spectrometry, geological and geophysical data for remote sensing minerals prospecting both onshore and offshore, novel efficient methods for remote sensing hydrocarbon prospecting and as well as for ore and non-ore mineral deposits detecting.

Most of the developed remote sensing methods for hydrocarbon prospecting have been validated over the test sites within the Dnieper-Donets Depression as well as inside prospective offshore areas of Black Sea. The developed remote sensing methods for ore and non-ore minerals prospecting have been applied to predict the poly-metallic deposits within the Ukrainian Shield, to search the occurrences of gypsum and anhydrite in many regions of Ukraine, etc.

The developed remote sensing methods for the minerals exploration onshore and offshore can be a scientific basis for the justification of the measures to the efficient environment management and taking the informative and administrative decisions. The authors hope that the of monograph will be useful for the scientists and experts, which work to resolve the various natural resource issues and implementation of the new promising geological and geo-information technologies.

Рецензенти: доктор технічних наук, членкореспондент НАН України О. М. Трофимчук
доктор геологічних наук М. М. Шаталов

Рекомендовано до публікації рішенням Вченої ради Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, протокол № 3 від 14.03.2017 року

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АКФ	— автокореляційна функція
АПТ	— аномалія пониження температури
АТП	— аномалія типу поклад
БД	— база даних
БЗ	— база знань
ВВ	— вуглеводні
ВНК	— водо-нафтовий контакт
ГА	— генетичний алгоритм
ГВК	— газо-водяний контакт
ГІС	— географічна інформаційна система
ДББ	— Дніпровський буровугільний басейн
ДДЗ	— Дніпровсько-Донецька западина
ДЗЗ	— дистанційне зондування Землі
КА	— космічний апарат
КСВ	— коефіцієнт спектрального відбиття
МАІ	— метод аналізу ієрархій
МAM	— метод аналітичних мереж
МСГТ	— метод спільної глибинної точки
НАН	— Національна академія наук
НГП	— нафтогазоносна провінція
РП	— регіональний профіль
СФК	— структурно-формаційний комплекс
ТСДШ	— теорія свідчень Демпстера–Шейфера
УЩ	— Український щит
ЦАКДЗ	— Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
ЦМР	— цифрова модель рельєфу
ШРЗ	— шовна рифтогенна зона
ШСЗ	— штучний супутник Землі
ВРА	— Basic Probability Assignment (базовий ймовірнісний розподіл)
DEM	— Digital Elevation Model (цифрова модель рельєфу)
GDEM	— Global Digital Elevation Model (глобальна цифрова модель рельєфу)

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА (В. І. Лялько, М. О. Попов)	6
РОЗДІЛ 1 ДИСТАНЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ГЕОЛОГІІ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ: РЕТРОСПЕКТИВА І СУЧАСНІСТЬ	7
1. Ретроспектива дистанційних досліджень в геології на території України (А. І. Воробйов, В. І. Лялько, А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович)	7
1.2. Нормативна база застосування дистанційних аерокосмічних методів при проведенні геологорозвідувальних робіт в Україні (А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович)	12
1.3. Місце аерокосмічної інформації в геологорозвідувальних роботах (А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович)	12
1.3.1. Місце аерокосмічної інформації в комплексі геологорозвідувальних робіт на нафту і газ (А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович)	12
1.3.2. Місце аерокосмічної інформації в комплексі геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини (А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович)	13
Література до розділу 1.....	16
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ	20
2.1. Критерії виявлення нафтогазоперспективних ділянок на суходолі з використанням геотермо-мкробіологічних методів та аерокосмічних теплових діапазону (В. І. Лялько, З. М. Шпортюк)	20
2.1.1. Механізм і модель підвищення температури в приповерхневих шарах при наявності нафтогазо вого покладу	20
2.1.2. Обґрунтування геотермічних критеріїв дистанційних пошуків покладів нафти і газу за допомогою режимних контактних вимірювань температури земної поверхні	23
2.1.3. Використання дистанційної геотермічної зйомки для пошуків нафтогазових покладів	25
2.1.4. Теоретичні основи дистанційних геотермічних пошуків нафтогазових покладів	25
2.1.5. Методика дистанційної геотермічної зйомки з метою пошуку нафтогазових покладів	27
2.1.6. Дослідна перевірка методу дистанційної геотермічної зйомки для пошуків нафти і газу в Дніпровсько-Донецькій западині	31
2.2. Диз'юнктивні критерії виявлення нафтогазоперспективних ділянок з використанням методів ДЗЗ (О. Т. Азімов)	32
2.3. Методи просторової інтерполяції геолого-геофізичних і дистанційно отриманих параметрів (О. Т. Азімов, Л.Ф. Даргейко)	34
2.4. Схема оброблення та комплексної інтерпретації дистанційних і геолого-геофізичних даних для вирішення завдань пошуку родовищ корисних копалин із застосуванням аерокосмічних методів (О. Т. Азімов)	39
2.5. Інформаційно-аналітичне забезпечення оцінки мінливості товщин відкладів, перспективних водні, у межах Дніпровсько-Донецької западини (О. Т. Азімов)	46
2.6. Метод оцінювання вуглеводневого потенціалу локальних структур на основі комплексування матеріалів космічної зйомки і магнітометричних даних (О. Т. Азімов)	55
2.7. Методика прогнозування покладів вуглеводнів за даними лінеamentного аналізу (О. А. Апостолов, А. Я. Ходоровський)	59
2.7.1. Методика лінеamentного аналізу	60
2.7.2. Методика прогнозування покладів вуглеводнів	63
2.8. Прогнозування перспективності території Дніпровсько-Донецької западини та Тарханкутського півострову Криму на пошуки покладів вуглеводнів з використанням лінеamentного аналізу (О. А. Апостолов, А. Я. Ходоровський)	65
2.8.1. Прогнозування покладів вуглеводнів у межах Дніпровсько-Донецької западини	65
2.8.2. Прогнозування покладів вуглеводнів у межах Тарханкутського півострова Криму	69
2.8.3. Аналіз карт щільності лінеamentів	72
2.8.4. Результати прогнозного оцінювання перспективності території Тарханкутського півострову на пошуки покладів вуглеводнів	72
2.8.5. Формування комплексу пошукових ознак та аналіз їх впливу на розміщення покладів вуглеводнів	74
2.8.6. Прогнозна оцінка перспективності території району на пошуки покладів вуглеводнів	74
2.9. Комплексний метод прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів в нафтогазових басейнах (С. М. Єсипович, Т. А. Єфименко, С. Г. Семенова, О. В. Титаренко)	79
2.10. Приклади застосування розробленого комплексного методу прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів (Т. А. Єфименко, М. О. Свіденюк, О. В. Седлєрова, О. В. Титаренко, М. В. Топольницький)	85

2.10.1.	Північно-Західний шельф Чорного моря	85
2.10.2.	Хухрянсько-Чернетчинська площа північного борту Дніпровсько-Донецької западини (ділянка Хухрянського нафтогазоконденсатного родовища з прилеглою територією)	93
2.11.	Інтеграція дистанційних та геолого-геофізичних даних при пошуках покладів нафти та газу на суходолі (С. І. Альперт, Т. А. Єфименко, А. О. Козлова, В. М. Подорван, М. О. Попов, С. А. Станкевич, О. В. Титаренко, М. В. Топольницький)	100
2.11.1.	Інтеграція дистанційних та геолого-геофізичних даних за удосконаленим методом Демпстера–Шейфера	100
2.11.2.	Інтеграція дистанційних та геолого-геофізичних даних за удосконаленою моделлю Байеса	104
2.11.3.	Геологічна інтерпретація отриманих результатів інтеграції даних для Липоводолинського родовища	105
2.12.	Евристичні методи оцінювання ділянок нафтогазоперспективних територій на основі міждисциплінарної інтеграції космічної та наземної інформації (О. І. Архипов, О. Д. Федоровський, А. В. Хижняк)	107
2.13.	Оцінка нафтогазоперспективності ділянок Дніпровсько-Донецької западини на основі міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації (О. І. Архипов, Т. А. Єфименко, К. Ю. Суханов, О. В. Томченко, О. Д. Федоровський)	111
2.14.	Застосування адаптивних спектральних індексів для пошуку покладів вуглеводнів з використанням матеріалів космічної зйомки й наземного фотометрування (К. Ю. Суханов, В. Г. Якимчук)	114
2.15.	Визначення меж покладів вуглеводнів методом мультифрактальної сегментації даних дистанційного спектрометрування рослинних покривів (М. В. Артюшенко, С. С. Дугін)	118
2.15.1.	Концепція дослідження	118
2.15.2.	Мультифрактальний аналіз спектрограм рослинного покриву на родовищах вуглеводнів	119
2.15.3.	Визначення меж покладів вуглеводнів за варіабельністю мультифрактального спектру	123
2.16.	Прогнозування нафтогазоносності у Чорному морі з використанням аерокосмічних методів (А. І. Воробйов, В. І. Лялько, Т. А. Мельниченко, З. М. Шпортюк)	125
2.16.1.	Зміст супутникової технології прогнозування покладів нафти і газу на морі	125
2.16.2.	Особливості виділення метану з дна моря на Північно–Західному шельфі Чорного моря	126
2.16.3.	Результати використання супутникових методів при нафтогазопошукових роботах у Чорному морі	131
2.16.4.	Виявлення розломних зон і каналів міграції вуглеводнів у Північно–Східній частині Чорного моря	134
2.16.5.	Відображення розломних зон Керченського шельфу на космічних знімках NOAA	140
	Література до розділу 2	142
РОЗДІЛ 3	МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ РОДОВИЩ РУДНОЇ ТА НЕРУДНОЇ СИРОВИНИ	153
3.1.	Критерії виявлення родовищ рудної та нерудної сировини при використанні дистанційних методів (Л. П. Ліщенко, А. Г. Мичак, Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович)	153
3.1.1.	Критерії виявлення родовищ рудної сировини	153
3.1.2.	Критерії виявлення родовищ нерудної сировини	156
3.2.	Методика пошуку рудної сировини на основі інтегрування дистанційних і наземних спектрометричних даних (А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович)	157
3.3.	Інтегрування дистанційних і геолого-геофізичних даних під час пошуково-розвідувальних робіт на поліметалеві руди (О. Т. Азімов, А. Я Буніна, С. А. Станкевич)	176
3.4.	Результати прогнозування покладів поліметалевих руд на Українському щиті на підставі інтегрування дистанційних і геолого-геофізичних даних (О. Т. Азімов, А. Я Буніна, С. А. Станкевич)	179
3.5.	Методика дистанційного пошуку покладів бурого вугілля шляхом інформаційного інтегрування даних багатоспектральної аерокосмічної зйомки і геолого-геофізичних даних (Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич)	183
3.6.	Методика дистанційного пошуку покладів гіпсу та гіпсоангідритів шляхом інформаційного інтегрування даних багатоспектральної аерокосмічної зйомки, польової спектрометрії і геологічних даних (Л. П. Ліщенко)	197
3.6.1.	Генезис гіпсоангідритів та їх розповсюдження	197
3.6.2.	Визначення якісних причинно-наслідкових зв'язків між заляганням покладів гіпсоангідриту та оптико-фізичними параметрами і характеристиками ґрунтово-рослинного покриву	198
3.6.3.	Дослідження зовнішніх та прихованих чинників, які мають вплив на формування корисного сигналу гіпсоангідритових покладів	200
3.6.4.	Розробка аналітичної моделі енергомасообміну в геосистемі при наявності покладів гіпсоангідритів на прикладі еталонних ділянок в різних регіонах України	201
	Література до розділу 3	212
ВИСНОВКИ	(В. І. Лялько, М. О. Попов)	217

ПЕРЕДМОВА

Однією з найважливіших і актуальних проблем у галузі природничих наук є розроблення наукових і науково-методичних основ підвищення ефективності пошуку покладів корисних копалин різних видів, насамперед, вуглеводнів. На вирішення цієї проблеми спрямована Цільова науково-технічної програма Відділення наук про Землю НАН України "Корисні копалини та перспективи нагромадження їх запасів".

В рамках цієї Програми у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України проводяться дослідження з удосконалення відомих і розроблення нових методів дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі та морському шельфі з метою вирішення завдання підвищення ефективності їх пошуку.

Предметом досліджень, опис і результати яких складають зміст даної колективної монографії, є методи інформаційного інтегрування даних багатоспектрального аерокосмічного знімання, польової спектроскопії і геолого-геофізичних даних при вирішенні завдань дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі і шельфі. Книга містить основні наукові і науково-практичні результати, отримані вченими Центру в означеному напрямку в період 2012-2016 років.

При постановці роботи принципове значення мав той раніше встановлений факт, що присутність покладу в земній корі обумовлює певні зміни в параметрах і характеристиках природних речовин верхнього шару земної поверхні (грунтів, рослинності, води). Відомо, що такі зміни можуть бути дуже слабкими, тому їх виявлення потребує залучення максимально можливого обсягу даних. Дані отримуються з різних джерел, мають неоднакові формати, можуть бути різночасовими; гетерогенність даних ускладнює їх оброблення і прийняття рішень.

Виходячи з цього, постає наукова задача дослідження – це розроблення методів інформаційного інтегрування подібних даних, а саме даних багатоспектрального аерокосмічного знімання, польової спектроскопії і геолого-геофізичних даних.

У монографії наводяться і детально описуються:

- * теоретико-методичні основи інформаційного інтегрування даних багатоспектрального аерокосмічного знімання, польової спектроскопії і геолого-геофізичних даних при вирішенні завдань дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі і морському шельфі;

- * нові методи дистанційного пошуку покладів вуглеводнів та виявлення родовищ рудної і нерудної сировини на суходолі і морському шельфі на основі інформаційного інтегрування даних багатоспектрального аерокосмічного знімання, польової спектроскопії і геолого-геофізичних даних.

Більшість з розроблених методів дистанційного пошуку покладів вуглеводнів пройшла апробацію на тестових ділянках території Дніпровсько-Донецької западини, в районах Північно-Західної та Північно-Східній частин Чорного моря.

Запропоновані методи дистанційного виявлення родовищ рудної та нерудної сировини були застосовані, зокрема, при прогнозуванні покладів поліметалевих руд на Українському щиті, при пошуку покладів гіпсу і гіпсоангідритів в різних регіонах України, тощо.

Розроблені методи дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі і морському шельфі можуть бути використані при обґрунтуванні заходів раціонального природокористування та прийняття управлінських рішень владними структурами України.

Значну роботу по підготовці колективної монографії до опублікування виконав О.І. Кудряшов, за що наукові редактори книги висловлюють йому свою подяку.

Загальне наукове редагування монографії виконано доктором геолого-мінералогічних наук академіком НАН України В.І. Ляльком і доктором технічних наук М.О. Поповим.

РОЗДІЛ 1

ДИСТАНЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ГЕОЛОГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ: РЕТРОСПЕКТИВА І СУЧАСНІСТЬ

1.1. Ретроспектива дистанційних досліджень в геології на території України

Вирішення більшості геолого-пошукових задач здійснюється із застосуванням дистанційних аерокосмічних методів. Але так було не завжди. У Радянському Союзі ініціатором використання дистанційних методів в геології був академік О. Є. Ферсман, який організував та очолив 1929 року Науково-дослідний інститут аерозйомки у м. Ленінграді (Санкт-Петербург). Саме за його ініціативи в період з 1929 по 1935 роки на теренах важкодоступних районів Сибіру та Азії були проведені перші масштабні дослідження з вивчення природних ресурсів методами аерозйомки. Одним із напрямків цих досліджень було вивчення геологічної будови та пошук корисних копалин. Важливою науковою працею, яка узагальнювала досвід та результати використання матеріалів аерозйомок в геології, стала робота А. В. Гавемана, яка побачила світ у 1937-му році [1]. У сорокові роки минулого століття значно збільшились об'єми аерофотознімальних робіт, удосконалилась технологія, методи обробки та дешифрування.

Значним кроком у розвитку геологозйомочних робіт на основі матеріалів аерозйомок було створення в 1944 році Лабораторії аерометодів (ЛАЕМ) при АН СРСР (нині ГУП "НИИКАМ", Росія) та Аерогеологічної експедиції (зараз ФГУНПП "Аэрогеология" Росія). Науково-практичні роботи співробітників цих організацій, їх підходи щодо використання матеріалів аерозйомок при геологічних дослідженнях в різних регіонах колишнього СРСР (Казахстан, Прикаспій, Україна, Сибір та ін.) стали підґрунтям для подальшого розвитку та впровадження дистанційних методів в геологорозвідувальний процес і в Україні.

Базовими методичними підручниками геологів у 50–60-х роках минулого століття, були монографії М. М. Петрусевича "Геологосъемочные и поисковые работы на основе аэрометодов" [2] та "Аэрометоды при геологических исследованиях" [3]. В цих по-

сібниках, поряд із ґрунтовним описом теоретичних та організаційних питань геологозйомочних робіт, містилась велика кількість зразків дешифрування геологічної будови різних за тектонічною та ландшафтною будовою регіонів.

В Україні перша професійна аерофотозйомка для потреб народного господарства була проведена в 1922 році в околицях м. Харків акціонерним товариством "Укрповітряшлях". Спочатку це були дослідницькі роботи з отримання якісних аерофотознімків, різних масштабів у видимому діапазоні. З 1924 р. аерофотознімання набувають систематичного планового характеру. Першими замовниками зйомки та їх активними користувачами були геодезисти, які шляхом топографічного дешифрування аерофотознімків забезпечили створення та поновлення топографічних карт детальних масштабів східних та південних територій України.

Для геологічного вивчення території України матеріали аерозйомок вперше застосували у 1962 р. О. О. Звягельський та В. М. Федірченко [4, 5]. Завдяки роботам цих дослідників була отримана нова геолого-тектонічна інформація про північну частину Українського кристалічного щита, яка переконливо свідчила про практичну можливість використання аерометодів в умовах геологічно закритих районів України. Згодом матеріали аерофотознімання були застосовані І. С. Причиною та В. І. Шуньком [6] для дешифрування структурно-тектонічних елементів у Дніпровсько-Донецької западині (ДДЗ).

Революційним етапом для розвитку дистанційних методів стало освоєння навколосезного космічного простору. З пілотованих космічних апаратів (КА), штучних супутників Землі (ШСЗ), орбітальних станцій у великій кількості почали поступати космічні знімки. Перші знімки земної поверхні з космосу були отримані метеорологічним супутником "Тайрос" та космічними кораблями серії "Мер-

курій” у 1960–62 роках. За кольоровими знімками регіону Карибського басейну та території Північно-Західної частини Африки було виявлено значну кількість раніше невідомих тектонічних порушень, закартографовано маловідомі виходи різновікових корінних порід.

Перші космічні фотозображення території СРСР у видимому діапазоні електромагнітного спектру було отримано льотчиком-космонавтом Г. С. Титовим у 1962 році з КА “Восток”.

В Україні 1 червня 1965 року у складі Центральної комплексної тематичної експедиції Держгеолкому УРСР було створено Центральну партію аерометодів (пізніше — відділ аерокосмогеологічних досліджень Укргеоінформу), яку очолив геолог-дистанційник Б. О. Ніколаєнко. Під його керівництвом були розроблені методичні прийоми оброблення матеріалів крупномасштабних аерозйомок, створена методика камерального складання середньомасштабних аерофотогеологічних карт території Українського кристалічного щита, розроблені методичні рекомендації із застосування матеріалів висотної і радіолокаційної аерозйомок при геологічному картографуванні [7–9]. В наступні роки були створені спеціалізовані загони, групи, відділи аерометодів у багатьох підрозділах Держкомгеології України. Їх очолили ентузіасти дистанційних методів Г. І. Воронова, В. М. Строев (Північукргеологія), А. І. Варавка, В. Ф. Голенчук (Південьукргеологія), В. Г. Гетьман, В. К. Слюсаренко (Артемгеологія), О. В. Миленко (Ворошиловградгеологія), А. А. Пасинков (Кримморгеологія), В. А. Скіяревський, Ю. Л. Соколова (Укргеофізрозвідка), М. М. Купчинська (Дніпрогеофізика), І. Є. Черленевська, Я. В. Ілечко (Львівська геологічна експедиція), С. М. Зенгіна (Інститут мінеральних ресурсів, м. Сімферопіль), В. О. Меліхов (Чернігівське відділення УкрНДГРІ).

Створена аерогеологічна служба Держкомгеології України забезпечила виробничі підрозділи матеріалами дистанційних зйомок, провела підготовку геологів в галузі дистанційних методів, розробила низку методичних вказівок щодо застосування цих методів досліджень у різних ландшафтно-геологічних умовах України. Зокрема, з приводу використання матеріалів аерофотозйомки при геологічному картуванні Українського щита (УЩ) і ДДЗ (1974 р.), застосування матеріалів висотної та радіолокаційної аерозйомок при геологічному картуванні УЩ (1980 р.), геологічному вивченні платформної частини України (1983 р.), використання матеріалів зимових космічних зйомок при структурно-тектонічних дослідженнях та пошуках корисних копалин у закритих районах (1984 р.), дешифрування аерофотознімків при вивченні зсувних та ерозійних процесів на території України (1979 р.), використання аерофотоматеріалів при вивченні карсту України (1980 р.).

Дешифрування аерофотоматеріалів проводилось також при пошуках бокситів, торфу, солей, сірки, золота, алмазів, при вивченні зсувів та селів [10]. Значною подією для узагальнення результатів дешифрування стало складання за редакцією О. І. Зарицького першої карти лінеamentів і кільцевих структур Української РСР за космічними даними (автори Б. О. Ніколаєнко, С. С. Бистревська, В. Т. Воловик, В. К. Гавриш), що дало змогу по-новому підійти до прогнозування пошуків корисних копалин з позицій розломно-блокової тектоніки [11].

У цілому період з 70-х і до кінця 80-х років минулого століття був надзвичайно активним та плідним у використанні аерокосмометодів в геології України. На початок цього періоду застосовувались дистанційні матеріали континентального і регіонального рівнів генералізації, пізніше більш детальних масштабів, що дало змогу багатьом дослідникам проводити аналіз глибинної будови регіонів України і на його основі створювати відповідні космогеологічні карти різного рівня генералізації. Космічне фотознімання дало можливість створити специфічні космофотогеологічні карти та схеми тектонічної будови, що відображали нові особливості геологічної будови території окремих регіонів України. Так, на основі оглядово регіональних дистанційних матеріалів у 1976 році співробітниками Київського відділу Інституту геології та розробки корисних копалин Міннафтопрому СРСР (КВ ІГ і РКК) було складено оглядову “Космофотокарту Дніпровсько-Прип'ятського авлакогену”, дещо пізніше була складена “Карта нафтогазогеологічного районування Дніпровсько-Донецької западини” у масштабі 1:1 000 000.

Я. Н. Белевцев і С. С. Бистревська у 1978 році склали “Схему розміщення основних глибинних структур в межах південно-західної частини Східно-європейської платформи”, яка відображає Дніпровсько-Донецький авлакоген, зони стику з УЩ і Воронезьким кристалічним масивом, а також Волинську рифтову зону, що характеризується складною кулісоподібною будовою.

В 1975–1979 роках фахівцями Інституту геологічних наук АН УРСР (ІГН) успішно проведені дослідження з обґрунтування теорії і методики спеціальних видів дистанційних зйомок, зокрема, теплової зйомки [12–14]. Дослідниками створені фізико-математичні моделі тепломасопереносу, процесів формування пошукового геотермічного сигналу при наявності в надрах покладів корисних копалин, які формують в земній корі температурну аномалію, яка може бути зафіксована в приповерхневих товщах і на земній поверхні.

В 1980–1989 роках фахівцями відділу геотектоніки ІГН (І. І. Чебаненко, М. М. Шаталов, В. Г. Верховцев, І. С. Потапчук та ін.) виділені кільцеві структури та проведені дослідження глибинної будови інших докембрійських тектонічних структур й великих

прадавніх розломів трансрегіонального рангу Приазовського мегаблоку УЩ й Криму за комплексом геолого-геофізичних та дистанційних зйомок [15–21]. Зокрема, матеріали дешифрування різномасштабних космо- і аерофотознімків дозволили з великою впевненістю й обґрунтованістю одержати нові дані про розломно-блокову будову території Південно-Східної частини України, що важливо не тільки для аналізу геодинамічних подій у регіоні, але й для металогенічної оцінки території.

На основі дешифрування космічних знімків, отриманих з пілотованих орбітальних станцій “Салют-4”, “Салют-6” і американського КА Landsat-2, в результаті комплексної інтерпретації регіональних космічних фотозображень і матеріалів геолого-геофізичного дослідження С. С. Бистревська і М. М. Шаталов у 1980 році склали “Структурно-геологічну карту території Східного Приазов’я” [15]. Її автори відмічали, що до систем кільцевих і дугоподібних розломів і особливо до ділянок їх перетину з лінійними розломними зонами різних напрямків простягання приурочені форми, що виникли внаслідок магматизму (штоки, дайки). На карті виділяється п’ять різних за глибиною залягання і віком формування систем тектонічних порушень, багато з яких раніше не фіксувалося на геологічних матеріалах [15].

В 1983 році геологами Інституту геохімії і фізики мінералів АН УРСР під керівництвом М. П. Гречишнікова було виконано роботи з узагальнення матеріалів аерокосмічних досліджень докембрійського фундаменту УЩ [22]; в результаті було отримано нові дані по докембрійським рудоносним структурам, впроваджено методи дистанційного аерокосмічного вивчення областей розвитку докембрію, а також докембрійських рудоконтролюючих структур.

Важливим етапом використання космічної інформації було створення “Космотектонічної карти Українського щита” в масштабі 1:1 000 000 [23], на якій зображені основні тектонічні елементи докембрію УЩ за результатами структурного дешифрування матеріалів космічних зйомок. Проведений металогенічний аналіз головних космоструктурних елементів щита і намічені нові рудоперспективні структури і рудні вузли.

Створенням космогеологічних карт СРСР масштабів 1:5 000 000 [24], 1:2 500 000 [25], до яких ввійшли різні тектонічні області України, виконанням у великих обсягах науково-дослідних і дослідно-методичних робіт щодо застосування комплексів космічних знімків, отриманих у різних зонах спектру, в регіональних геологічних дослідженнях завершився етап дрібномасштабного космофотогеологічного картування в Україні.

Разом з тим, питанням інтерпретації результатів дешифрування для вирішення різних структурних геологозйомочних завдань (вивчення ролі тектонічних розломів, лінеamentів, взаємовідношень

складчастих і диз’юнктивних дислокацій, інтрузивних утворень) приділялось значно менше уваги.

З другої половини 80-х років минулого століття дистанційні методи все більше застосовуються при еколого-геологічних дослідженнях. Здійснюються спеціалізовані роботи — аерокосмічний моніторинг геологічного середовища. У рамках цих досліджень розроблені нові методичні засоби побудови прогнозних карт для пошуків підземних вод, розрахунків ймовірності прояву екзогенних геологічних процесів, захищеності підземних вод.

Поява КА природоресурсного призначення (Landsat, Space Shuttle (США), “Метеор”, “Космос”, “Союз”, “Ресурс”, “Мир” (СРСР), SPOT (Франція)), обладнаних бортовою спектро- та радіометричною апаратурою, яка забезпечує зйомки земних утворень в ультрафіолетовому, видимому, інфрачервоному та радіо-діапазонах, дозволила вченим відповідних інститутів НАН України обґрунтувати теорії і методики використання дистанційних зйомок земної поверхні, їх комплексної геологічної інтерпретації для пошуків нафти, газу, сульфідних руд, ділянок живлення і розвантаження підземних вод різних регіонів України.

Нові методики технології дозволили провести геологічні дослідження з уточнення раніше виявлених і картографування нових структурних елементів. Особливе значення мало те, що на космофотокартах всіх регіонів впевнено виділяються лінійні (розломні зони) та кільцеві структури. Проводиться оцінка інформативності космічних зображень для вирішення різних завдань комплексного тематичного картографування. За допомогою дешифрування космофотозображень підвищується ступінь об’єктивності ранжування геологічних структур і тектонічного районування. При прогнозуванні геологічних форм в ДДЗ, на УЩ та інших регіонах на тектонічних картах встановлено перехресний структурний план земної кори. Виділяють структурні та рудні вузли, утворені розривами трансрегіонального і регіонального рангів та кільцевими утвореннями, що дають можливість локалізувати райони пошуків корисних копалин.

Результативну допомогу геологам у другій половині 80-х років надали матеріали багатозонального знімання за допомогою фотокамер МКФ-6 та МСК-4, що дозволило суттєво уточнити фотометричні характеристики природних об’єктів знімання.

У 1980–90-ті роки в Україні більш широко з’являються роботи зі створення геологічних та тектонічних карт детальних масштабів на базі дешифрування космічних знімків. Як приклад, можна навести “Карту розподілу щільності фотозображення в межах Міллерівської і Гуківської кільцевих структур” [26]. Концентрична форма Гуківської структури відображається на різних стратиграфічних рівнях елементами будови вугленосної товщі.

Наприкінці 80-х років минулого століття, в ре-

зультаті комплексної інтерпретації даних дешифрування матеріалів аерокосмічної і радіолокаційної зйомки і геолого- геофізичних даних, під керівництвом Л. В. Шандренка, Ю. Л. Соколової та ін. в Центральній тематичній експедиції Міністерства геології УРСР отримані нові відомості про структурно-тектонічну і геологічну будову північного борту ДДЗ. Виявлено 332 прогнозних підняттях. Зроблено висновки про шляхи міграції вуглеводнів (ВВ) тріщинуваті породи кристалічного фундаменту. Вироблені основи напрямки пошукових робіт перспективних на нафту і газ в кристалічних породах фундаменту. Складена “Карта співставлення даних структурного дешифрування і сейсморозвідки (північний борт ДДЗ)” масштабу 1:200 000. Даються рекомендації на постановку бурових і сейсморозвідувальних робіт [27].

Використання космічних сканерних знімків, отриманих з ШСЗ “Метеор-1, 2” і багатозональних фотоматеріалів з орбітальної станції “Салют”, КА серії Landsat дозволило побудувати “Схему дешифрування космічних знімків північно-східної частини Українських Карпат і Внутрішньої частини Передкарпатського прогину” (автори А. Г. Мичак, О. І. Кудряшов). Більша частина лінеamentів, відображених на космічних знімках, відповідає розривним порушенням регіонального характеру, що тісно пов’язані з доальпійською основою регіону [28].

Комплексний підхід до використання матеріалів космічного фотознімання в геології був здійснений в Україні в 1988 р. дослідниками КВ ІГ і РКК та провідними спеціалістами науково-дослідних і виробничих організацій Міннафтопрому і Мінгео УРСР, результати якого дозволили створити “Тектонічну карту нафтогазоносних областей південного заходу СРСР” (автори Р. Г. Гарецький, В. В. Глушко, М. О. Крилов, М. Г. Распопова та ін.). До складу цієї карти входили картографічні додатки масштабу 1:1 000 000 [29]:

1. Карта розривних порушень і основних зон лінеamentів південного заходу СРСР;
2. Карта гіпсометрії підосви плитних комплексів південного заходу СРСР;
3. Карта неотектоніки південного заходу СРСР.

Тектонічна карта була складена на основі використання найновітніших на той час фактичних даних, новітніх уявлень про геологічну будову території України. Були залучені комплекти космічних знімків, отриманих в різних зонах спектру на протязі багатьох років. Особливої уваги заслуговують виявлені вперше на території України трансконтинентальні диз’юнктивні дислокації, що обмежують блоки літосфери. Ці глибинні лінійні структури розглядаються як “молоді” зони підвищеної тріщинуватості земної кори — новоутворення, зобов’язані своїм проявом на земній поверхні сучасній структурі літосфери і процесам, що відбуваються на великих глибинах. Новоутворення приурочені

до крупних неоднорідностей в нижніх частинах літосфери і проявляються у верхньому поверсі (фундаменті і осадовому чохла) зонами регіональної підвищеної тріщинуватості. В цілому, зони підвищеної проникливості земної кори, як відзначають автори карти, можуть мати пошуковий інтерес: на кристалічних щитах — це зони ендегенної мінералізації, у великих прогинах — зони нафтогазонакопичення.

Колектив авторів “Тектонічної карти нафтогазоносних областей південного заходу СРСР” у 1990 році отримав Державну премію УРСР. Геологічне значення цієї карти є актуальним до цього часу.

Значний об’єм дистанційних досліджень в “нульових” роках виконали фахівці відділу аерокосмогеологічних досліджень Укргеоінформу Державної геологічної служби України під керівництвом О. О. Янцевича. За допомогою методів математичної статистики встановлено тісний кореляційний зв’язок кількісних показників тектонічної роздробленості з водонасиченістю свердловин та проявом екзогенних геологічних процесів (зсуви, яри, карст, просадки, суфозія). На основі комп’ютерного оброблення геолого-гідрогеологічної інформації та отриманих результатів дешифрування космофотознімків створено методики побудови автоматизованих прогнозних карт для пошуків підземних вод, імовірності прояву екзогенних геологічних процесів, нового покоління карт захищеності підземних вод тощо.

Велика увага приділяється використанню комп’ютерних технологій, поширюється використання в ДЗЗ географічних інформаційних систем (ГІС), котрі забезпечують роботу як з растровими (зображення), так і з векторними (карти) форматами [10].

В 2000-х роках на замовлення “Північгеологія” на базі спектрометричного аналізу матеріалів ДЗЗ та рослинності розробляються методичні прийоми пошуків родовищ кольорових металів на рівні окремих рудних вузлів [10, 30, 31]. В ці ж роки проводяться роботи із забезпечення геологозйомочних робіт фактографічним та інтерпретаційними частинами дистанційної основи до Держгеолкарти-200 [10, 32–37].

Дослідженням новітньої тектоніки та структурної геоморфології з використання даних ДЗЗ присвячені роботи вчених Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, зокрема, В. М. Тимофеева, С. Ю. Бортника, В. Г. Пазинича та ін. [38–41].

Значний науково-теоретичний та практичний вклад у геологічну інтерпретацію результатів дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок внесли вчені ІГН НАН України (І. І. Чебаненко, В. К. Гавриш, А. Я. Радзівіл, А. І. Недошовенко, М. М. Шаталов, В. Г. Верховцев та ін.)

В 2008 році співробітником Наукового центру

аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України (ЦАКДЗ) О. Т. Азімовим було запропоновано новий структурно-геодинамічний методологічний підхід до геологічного дешифрування даних ДЗЗ і проблемно-орієнтованої інтерпретації його результатів. Розроблено класифікацію компонентів сучасного ландшафту типових регіонів платформної частини України (УЩ, ДДЗ) та особливостей їх відображення на даних ДЗЗ щодо геоіндикації кінематичних характеристик різнорангових диз'юнктивів і пов'язаних з ними полів деформацій [42–45]. Для районів УЩ і ДДЗ побудовано уточнені структурно-тектонічні картосхеми масштабів 1:200 000–1:50 000. Установлено закономірності просторово-генетичного зв'язку пасток ВВ у ДДЗ із вузлами перетину відроджених диз'юнктивів. Уперше у межах локальних ділянок північної частини УЩ за даними ДЗЗ виділено і ландшафтно-геодинамічно аргументовано 11 майданчиків, потенційно придатних для будівництва сховищ небезпечних промислових відходів у геологічних формаціях [46–49].

В першому десятилітті 2000-х років В. Г. Верховцевим на основі структурно-геоморфологічних і аерокосмічних методів з використанням традиційних геолого-геофізичних даних було здійснено узагальнення активних на новітньому етапі розвитку платформних геоструктур України. Охарактеризовано виявлені лінійні і кільцеві геоструктури, а також сумарні амплітуди вертикальних новітніх рухів земної кори території України (мілкомасштабні дослідження: 1:500 000–1:1 000 000), геологічних регіонів (середньомасштабні дослідження: 1:200 000–1:500 000), окремих еталонних (деталізаційних) ділянок (середньо-, крупномасштабні роботи: 1:200 000–1:5 000) [50].

Вже кілька десятків років в Національному гірничому університеті (м. Дніпро) плідно працює школа дистанційних геологів під керівництвом проф. Б. С. Бусигіна. Тут створюються нові ефективні методи пошуків рудних і нерудних корисних копалин, прогнозу сейсмічності, геологічного картування, лінеamentного аналізу [51–53], а також ведеться підготовка молодих спеціалістів.

Лідером науково-методичних і практичних розробок з використання супутникових даних для вирішення геолого-пошукових задач, за роки незалежності України, став ЦАКДЗ, створений у травні 1992 року на базі відділу тепломасопереносу в земній корі ІГН НАН України та Київського НДІ космоаерометодів колишнього Міністерства нафтової та газової промисловості СРСР та АН СРСР. Науковці Центру плідно працюють над застосуванням космічної інформації при пошуках рудних, нерудних та горючих корисних копалин як на суші, так і на шельфі, вивчають зв'язки між геофізичними полями, прогнозують сейсмічні явища, уточнюють будову “шовних” зон та інших тектонічних структур, тощо.

НАН України та Державне космічне агентство України (ДКАУ) визначили ЦАКДЗ головною організацією з науково-методичного керівництва дослідженнями з ДЗЗ, які виконуються установами НАН України. На базі Центру працюють наукова рада НАН України з проблеми “Вивчення природних ресурсів дистанційними методами” та спеціалізована рада із захисту докторських та кандидатських дисертацій у галузі технічних та геологічних наук за спеціальністю “Дистанційні аерокосмічні дослідження”. ЦАКДЗ – перша в Україні наукова організація, яка свого часу була прийнята до Європейської асоціації лабораторій дистанційного зондування (EARSeL).

Центр плідно співпрацює з Європейським космічним агентством (ESA), а також із космічними агентствами й установами США, Німеччини, Франції, Японії, Угорщини, Польщі, Білорусі, зокрема, в межах програм GEOSS, GMES та ін.

Нині ЦАКДЗ динамічно розвивається, вирішує актуальні наукові та прикладні проблеми, сприяючи тому, щоб наукові здобутки його співробітників посіли гідне місце у науці та зробили достойний внесок у вирішення актуальних для України задач реальної економіки та оборони, зокрема, у наповнення запасів корисних копалин.

Концептуально стратегія розвитку досліджень в ЦАКДЗ в перспективі до 2020 р. полягатиме в реалізації (з урахуванням науково-прикладної спеціалізації установи) основних положень розвитку світового суспільства, визначених рішеннями ООН зі сталого безконфліктного розвитку людства шляхом забезпечення його перш за все трьома необхідними складовими життєдіяльності, а саме – продовольством, питною водою та енергоресурсами.

У вирішенні цієї планетарної проблеми суттєву роль відіграватиме розроблення сучасних методів та технологій використання матеріалів гіперспектральних аерокосмічних зйомок та комп'ютерного моделювання процесів енергомасообміну в геосферах Землі з метою обґрунтування рекомендацій для вибору сценаріїв раціонального природокористування в умовах збалансованого соціо-економічного розвитку різних країн при відповідних взаємних гарантіях оборонного характеру та міжнародної безпеки.

З повним переліком наукових публікацій з даних напрямків досліджень останніх років можна ознайомитися на сайті ЦАКДЗ <http://www.casre.kiev.ua/uk/publications> та в Українському журналі дистанційного зондування Землі: <http://ujrs.org.ua/ujrs>

Приведений огляд публікацій не вичерпує всіх робіт з тематики використання аерокосмічних даних в Україні для пошуків корисних копалин, але вони свідчать про широкий фронт досліджень і значні досягнення в цій царині.

1.2. Нормативна база застосування дистанційних аерокосмічних методів при проведенні геологорозвідувальних робіт в Україні

Геологічна діяльність в межах України регламентується відповідними законодавчими актами та керівними нормативними документами, основним серед яких є Кодекс України про надра [54].

Серед галузевих геологічних нормативів важливими для визначення місця дистанційних аерокосмічних методів при пошуках корисних копалин мають:

- Положення про стадії геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини [55];
- Положення про стадії геологорозвідувальних робіт на підземні води (гідрогеологічні роботи) [56];
- Галузевий стандарт України “Етапи і стадії геологорозвідувальних робіт на нафту і газ. Порядок проведення” [57], а також дві інструкції;
- Організація та проведення геологічного довивчення раніше закартованих площ масштабу 1:200 000, складання та підготовка до видання Державної геологічної карти України масштабу 1:200 000 [58];
- Організація та проведення геологозйомочних робіт і складання та підготовка до видання Геологічної карти України масштабу 1:50 000 (1:25 000) [59].

Названі керівні геологічні документи регламентують послідовність проведення геологорозвідувальних робіт у процесі вивчення надр з метою геологічного картування території України, її окремих регіонів у плані пошуку, розвідки, підготовки до розроблення й експлуатації родовищ корисних копалин. У визначенні місця та значення методів дистанційного зондування, в процесі геологічних досліджень, в приведених законодавчих актах інформації є небагато. Зокрема, в галузевому стандарті України “Етапи і стадії геологорозвідувальних робіт на нафту і газ” місце дистанційних методів передбачено тільки на регіональному етапі досліджень, де у п. 7.3.2.1, на стадії виділення зон і районів для першочергового вивчення, пропонується “дешифрування матеріалів аерофото- і космічних зйомок різного рівня генералізації” [57].

В Положенні про стадії геологорозвідувальних

робіт на тверді корисні копалини теж використання матеріалів дистанційних зйомок відзначено тільки на стадії регіонального геологічного вивчення території України на підстадах геолого-знімальних робіт масштабу 1:200 000 (1:100 000) та геологопрогнозних робіт масштабу 1:50 000 (1:25 000) з метою забезпечення максимальної результативності робіт (п. 5.2.2: “проводиться дешифрування матеріалів космічних аерозйомки та інших дистанційних методів” і п. 5.3.3: “виконується оброблення результатів дистанційних зйомок (аерофото- та радіолокаційної зйомок)” [55]. Дещо більше інформації з використання дистанційних матеріалів приведено в інструкції “Організація та проведення геологічного до вивчення раніше закартованих площ масштабу 1:200 000...” [58], але вона відображає рівень розвитку дистанційних методів 70–80-х років минулого століття.

Зважаючи на такий стан, існує необхідність привести більш детальний погляд на місце дистанційних аерокосмічних методів на різних стадіях геологорозвідувальних робіт при пошуках корисних копалин. Адже, за останні 20–30 років розвиток космічної індустрії сприяв надзвичайно активному розвитку методів та технологій космічних досліджень природних ресурсів Землі, їх широкому впровадженню в практику геологічних досліджень.

У цілому геологорозвідувальний процес (відповідно до приведених базових законодавчих актів) має регіональний, пошуковий та розвідувальний рівні геологічного вивчення надр та розвідки корисних копалин, але при цьому ці рівні мають свої особливості при пошуку різних корисних копалин, зокрема, у визначенні об’єктів вивчення, мети, виду та складу робіт. Розглянемо окремо стадійність (схеми) геологорозвідувальних процесів на нафту та газ і при пошуках твердих корисних копалин, оскільки матеріали дистанційних аерокосмічних зйомок найбільш широко використовуються саме в цих напрямках і разом з тим, вони мають найбільші відмінності при застосуванні.

1.3. Місце аерокосмічної інформації в геологорозвідувальних роботах

1.3.1. Місце аерокосмічної інформації в комплексі геологорозвідувальних робіт на нафту і газ

Вивчення нафтогазоносності, пошуки і розвідка покладів нафти та газу на основі дистанційних аерокосмічних методів здійснюються в Україні з урахуванням галузевого стандарту “Етапи і стадії геологорозвідувальних робіт на нафту і газ” [57]. При цьо-

му дослідження, їх назва та послідовність повністю відповідають приведеному стандарту, тобто враховують регіональний, пошуковий та розвідувальний етапи. Стадії, об’єкти та масштаби досліджень, основні види робіт з використанням аерокосмічних матеріалів здійснюються в Україні на основі досвіду багаторічних досліджень з використання дистанційних матеріалів зйомок при нафтогазопошукових дослідженнях [60–72].

В залежності від геологічного (технічного) завдання, рівня вивченості досліджуваної території, на різних стадіях геологорозвідувальних робіт виконуються роботи в масштабах: на етапі регіональних робіт – 1:200 000–1:100 000, пошуковому 1: 50 000 і розвідувальному 1:25 000, 1:10 000 (табл. 1.1).

Для прискорення робіт, залежно від геологічного завдання, території досліджень, геологічних та інших умов допускається суміщення стадій в часі досліджень, але оптимальним є послідовність виконання на початку — регіональних, потім пошукових і тільки потім розвідувальних робіт.

Регіональний етап передбачає дві стадії дистанційних досліджень. Метою першої стадії (виділення нафтогазоперспективних зон) є уточнення та виявлення нової інформації глибинної будови існуючих зон (їх частин) нафтогазонакопичення, встановлення ієрархії розривних порушень, лінеаментних зон та кільцевих утворень.

На другій стадії регіональних робіт “оцінка зон, ділянок нафтогазонакопичення” уточнюються зони розривних порушень (лінеаментів), вивчаються їх неотектонічні особливості. На цій стадії можливе виявлення неотектонічних аномалій, що можуть зіставлятися з окремими локальними як відомими підняттями, окремими блоковими структурами, так і виділеними вперше.

В результаті регіональних аерокосмічних досліджень, в комплексі з іншими геолого-геофізичними даними уточнюється геолого-тектонічна будова як в цілому нафтогазонаосної провінції, так і її окремих територій, виявляються перспективні зони, ділянки для проведення подальших пошукових аерокосмогеологічних і геолого-геофізичних (сейсморозвідувальних, геохімічних та ін.) робіт.

В процесі регіональних досліджень обґрунтовуються найбільш перспективні напрямки подальших нафтогазопошукових робіт. Масштаб досліджень цього етапу становить 1:200 000, в районах зі складною геологічною будовою — 1:100 000).

Пошуковий етап. Метою дистанційних пошукових досліджень є уточнення та виявлення на матеріалах аерокосмічних зйомок прогнозних структур та можливих зон розвитку тріщинуватих колекторів. За своїм значенням це основний етап досліджень. Масштаб досліджень, як правило, 1:50 000. В процесі дешифрування широкого спектру дистанційних даних (видимого, інфрачервоного, теплового діапазонів електромагнітного спектру, радіолокаційних зйомок), комплексної інтерпретації отриманих результатів з геолого-геофізичними матеріалами на цій стадії виявляються і характеризуються більш детально, ніж на регіональному етапі розривні порушення (лінеamenti) та прогнозні структури. Важливим напрямком досліджень цього етапу є виявлення (прогнозування) можливих зон розвитку тріщинуватих колекторів в межах прогнозних структур.

Етап завершується створенням карти прогнозних об'єктів і рекомендаціями на цілеспрямоване проведення подальших розвідувальних робіт (в тому числі дистанційних спектrometerичних досліджень).

Розвідувальний етап передбачає деталізаційні дистанційні дослідження об'єктів, виявлених на попередньому етапі. За об'ємами робіт перевага надається дистанційним спектrometerичним дослідженням та підготовці рекомендацій на цілеспрямоване проведення подальших видів геологорозвідувальних робіт, в окремих випадках — здійснення структурного, параметричного і пошукового буріння.

1.3.2. Місце аерокосмічної інформації в комплексі геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини

Дослідження на тверді корисні копалини на основі дистанційних методів досліджень в Україні проводяться з урахуванням Положення про стадії геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини 124/4345 [20]. Назва стадій відповідає приведенню у Положенні — регіональне геологічне вивчення, пошукові роботи та розвідка родовищ, підстадії, об'єкти, масштаб, мета, види дистанційних досліджень здійснюються на основі досвіду робіт фахівців ЦАКДЗ та інших установ з використання дистанційних матеріалів зйомок при пошуках твердих корисних копалин в зарубіжних країнах і на території України (табл. 1.2) [66–73].

В цьому напрямку досліджень в останні роки співробітниками ЦАКДЗ опубліковано та впроваджено в практику цілий ряд нових розробок:

1. Проведено апробацію нової супутникової технології прогнозування та пошуку покладів ВВ на 9 об'єктах виробничих геолого-пошукових підприємств: ВАТ “Укрнафта” ДК “Укргазвидобування” та отримано високий (82%) відсоток достовірності прогнозу, що дозволить в значній мірі зменшити собівартість та значно підвищити ефективність геолого-пошукових робіт на нафту й газ (О. І. Архипов, Г. Ф. Бусел та ін.).

2. Складена та прийнята до впровадження методика “Аерокосмічні дослідження геологічного середовища” у вигляді методичного посібника. Ця методика вже використовується при проведенні геолого-знімальних робіт та при геологічному до вивченні території в ПДРГП “Північгеологія” та впроваджується у всі підрозділи Геологічної служби України (А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович, Н. В. Пазинич, Л. П. Ліщенко, О. М. Терemenko, О. І. Кудряшов, Н. І. Гончаренко).

3. З метою забезпечення енергетичної незалежності України шляхом диверсифікації зарубіжних поставок енергоносіїв розроблено нову технологію оперативного космічного аудита перспектив на-

Таблиця 1.1.

Схема геологорозвідувального процесу при нафтогазопішукових роботах з використанням аерокосмічної інформації

Етап	Стадія	Об'єкти та масштаб дослідження	Основні види досліджень (робіт)	Основні кінцеві результати
Регіональний	Виділення нафтогазо-перспективних зон	Нафтогазоносна провінція М 1:200 000	Уточнення та виявлення нової інформації глибинної будови нафтогазоносною провінції, її частини, зон (їх частин) нафтогазоакопичення, встановлення ієрархії розривних порушень, лінеаментних зон та кільцевих утворень. Аналіз просторових закономірностей в розподілі структурних форм. Обґрунтування найбільш перспективних напрямків нафтогазопішукових робіт	Картографічні моделі глибинної геологічної будови регіону робіт на основі комплексного аналізу результатів дешифрування і геолого-геофізичних даних з прогнозними оцінками нафтогазо-перспективності
	Оцінка нафтогазо-накопичення окремих зон, ділянок	Нафтогазо-перспективні зони, ділянки М 1:100 000	Уточнення зон розривних порушень (лінеаментів), кільцевих утворень. Виявлення неотектонічних аномалій, блоків, що зіставляються з зонами підняття, великими локальними структурами (як відомими так і виділеними вперше). Виділення перспективних неотектонічно активних зон, лінійних зон підвищеної тріщинуватості гірських порід. Обґрунтування нових ділянок для проведення подальших пошукових аерокосмогеологічних і геолого-геофізичних (сейсморозвідувальних) робіт.	
Пошуковий	Пошуки структур	Прогнозні структури (об'єкти) М 1:50 000	Виділення прогнозних структур, на основі структурного дешифрування, структурно-геоморфологічного аналізу, визначення їх черговості для проведення сейсморозвідувальних робіт	Картографічна модель прогнозних об'єктів
			Уточнення виявлених зон розвитку тріщинуватих колекторів (прогнозування розвитку тріщинуватих колекторів) Виділення прогнозних об'єктів для проведення розвідувальних дистанційних (спектрометричних) досліджень	
Розвідувальний	Пошуки покладів	Пастки, поклади М 1:25 000 (М 1:10 000)	Деталізаційні дистанційні дослідження виявлених об'єктів. Рекомендації на цілеспрямоване проведення подальших видів геологорозвідувальних робіт, в окремих випадках структурного, параметричного і пошукового буріння	Картографічна модель розвідувальних об'єктів. Рекомендації.

фтогазоносності тих ліцензійних ділянок, які Україна передбачає купувати за рубежом із метою добування нафти та газу. Зазначена технологія була успішно застосована для вирішення поставлених НАК “Нафтогаз України” завдань на Туркменському шельфі Каспійського моря та в Арабських Еміратах (В. І. Лялько, О. І. Архіпов, З. М. Товстюк, А. Г. Мичак).

4. Підготовлено стандарт ДСТУ 4220-2003 “Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять” (М. О. Попов, В. І. Кононов).

5. Розроблена методика та виконана оцінка нафтогазового потенціалу шельфу Чорного моря дистанційними методами (В. І. Лялько, А. І. Воробйов, В. М. Перерва, В. Ю. Безкровний, А. Я. Ходоровський, О. А. Апостолов, О. А. Кичка, Ю. В. Костюченко, З. М. Товстюк, О. Ю. Котляр).

6. НДР “Оцінка перспектив нафтогазоносності Турутинсько-Рогінцівської та Вербівсько-Качалівської структур для НГВУ “Охтирканафтогаз” ВАТ “Укрнафта” методом дистанційного зондування” на замовлення НГВУ “Охтирканафтогаз” ВАТ “Укрнафта” (2010 р.). Виконавці — О. І. Архіпов, З. М. Товстюк, Т. А. Єфіменко, О. В. Седлорова та ін.

7. У зв'язку з широким публічним обговоренням в Україні питань екологічної безпеки при заплано-

ваному урядом видобутку сланцевого газу співробітниками ЦАКДЗ академіком НАН України В. І. Ляльком і д. г. н. О. Т. Азімовим разом з співробітником Інституту стратегічних досліджень при Президенті України д. т. н. Є. О. Яковлевим була підготовлена доповідь: “Аерокосмічні та гідрогеологічні методи у вирішенні задач екологічної безпеки при видобутку сланцевого газу в Україні”. Ця доповідь була заслухана на трьох “круглих столах”, присвячених тематиці сланцевого газу, її основні положення висвітлювались українським телебаченням, що сприяло формуванню у аудиторії та владних структурах реалістичних підходів до освоєння вказаних газових ресурсів.

Концептуально, при аерокосмічних дослідженнях на тверді корисні копалини необхідно дотримуватись багатоступінчастого аналізу дистанційних зображень, при якому об'єкт дослідження розглядається на тлі досліджуваного регіону, складовою, невід'ємною частиною якого він є. Тобто, дотримуватись послідовної деталізації досліджуваних об'єктів, починаючи з найбільш оглядових. Разом з тим, дистанційні дослідження з пошуку певних конкретних корисних копалин можуть проводитись, залежно від території досліджень, геологічних умов,

Таблиця 1.2.

Схема геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини з використанням аерокосмічної інформації

Підстадія	Об'єкти та масштаб дослідження	Мета та основні види досліджень, (об'єкти пошуку)	Основні кінцеві результати
Регіональні геолого-структурні дослідження	Металогенічні провінції, області М 1:200 000	Уточнення та виявлення нової інформації глибинної будови металогенічної провінції, встановлення ієрархії розривних порушень, лінеаментних зон та кільцевих утворень. Аналіз просторових закономірностей в розподілі структурних форм. Визначення основних закономірностей розміщення корисних копалин.	Картографічні моделі глибинної геологічної будови регіону робіт
	Окремі частини областей, крупні структури (геоблоки), металогенічні зони М 1:100 000	Створення дистанційних основ Уточнення структурно-тектонічних каркасів (регіональні розломи, лінеаментні зони, кільцеві структури (утворення); Уточнення меж (геологічних контурів) геологічних тіл. Отримання додаткової нової інформації для вивчення та уточнення закономірностей розміщення корисних копалин. Виділення геологічних структур, окремих районів, об'єктів для подальших пошукових, пошуково-оціночних робіт	Дистанційні основи 1:20 000, 1:100 000 Картографічні моделі геологічної будови регіону робіт на основі комплексного аналізу результатів дешифрування і геолого-геофізичних даних з елементами металогенії
Пошуково-оціночні роботи	Потенційні рудоносні райони, вузли М 1:50 000	Створення дистанційних основ Проведення структурного дешифрування, морфоструктурних досліджень. Виявлення прогностичних рудоносних районів, вузлів за структурним в комплексі металогенічного прогнозу. Виділення рудоносних об'єктів для подальшої розвідки	Дистанційні основи 1:50 000 Картографічні геологопошукові моделі потенційних рудних вузлів, полів.
	Рудоносні поля, їх частини. Родовища. М 1:25 000 (М 1:10 000-М 1:5 000)	Створення дистанційних основ для технічного проекту, розробки конкретного покладу корисних копалин Детальне структурне, структурно-геоморфологічне дешифрування з виявленням структурно-речовинних комплексів, локальних магматогенних об'єктів (інтрузій, кратерів, кальдер, субвулканів, трубок вибуху, дайок, малих інтрузій), елементарних структурних форм (блоків, диз'юнктивних та плікативних утворень. Рекомендації до вихідних даних для виготовлення технічного проекту розробки покладу корисних копалин.	Дистанційні основи М 1:25 000 — М 1:5 000 Картографічні моделі рудних полів, їх частин, та родовищ Рекомендації розробки покладу корисних копалин.

геологічного завдання (бажання) замовника (державного чи приватного інвестора), неодноразово на родовищах, рудних полях, вузлах, районах, зонах, що були розвідані раніше з суміщенням стадій в часі.

Метою стадії регіонального геологічного вивчення є виявлення найважливіших рис геологічної (тектонічної) будови, їх елементів і взаємовідносин між ними: лінійних структур різного простягання (меридіонального, поперечного, діагонального, які можуть бути накладеними, (наскрізними), а також структурні зони, западини, регіональні блоки, мас-

штабні кільцеві структури, великі вулканічні апарати (вулканіти) та ін. Це дає можливість оцінити загальну структурну позицію металогенічної провінції (області), на субрегіональному (в деяких випадках континентальному) рівні, намітити загальні структурні закономірності, підійти до вирішення деяких існуючих дискусійних геолого-тектонічних питань регіону. На завершення регіональної стадії, здійснити аналіз поширення ендегенного зрудення території дослідження, визначити основні закономірності розміщення корисних копалин.

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

Розвідка родовищ дистанційними методами передбачає детальне структурно-геологічне, структурно-геоморфологічне дешифрування з виявлення окремих структурно-речовинних комплексів, магматогенних локальних об'єктів (інтрузій, кратерів, кальдер, субвулканів, трубок вибуху, дайок, малих інтрузій), елементарних структурних форм (блоків, диз'юнктивних та плікативних утворень. Цей рівень досліджень має багато специфічних моментів, які визначаються специфікою досліджуваної території. В першу чергу це відноситься до геологічної відкритості досліджуваної ділянки (наявності рослинного покриву, його специфіки, ґрунтового покриву, четвертинних відкладів, особливостей геоморфоло-

гічної будови, на кінець кліматичних умов і т. д.). На завершення цієї стадії, на основі проведених комплексних дистанційних досліджень з існуючими геолого-геофізичними, геохімічними і т. д. даними надаються рекомендації до вихідних даних для виготовлення технічного проекту розробки покладу корисних копалин.

Важливим напрямком всіх стадій робіт є створення дистанційних основ, відповідного рівня досліджень. Дистанційна основа — це певним чином оброблені й систематизовані вихідні матеріали дистанційного зондування в цифровій та аналоговій формах, які, у кінцевому варіанті, забезпечують створення високоякісної геокартографічної продукції.

Таким чином, дистанційні аерокосмічні методи в комплексі геолого-пошукових робіт на корисні копалини займають важливе, але специфічне, власне тільки їм місце. Вони не підміняють собою методи геолого-геофізичного спрямування, які є базовими при цілеспрямованих пошуках тих чи інших корисних копалин, а значно підвищують ефективність та економічність всього комплексу досліджень, які використовуються при пошуках родовищ.

Література до розділу 1

1. Гавеман А. В. Аэросъемка и исследование природных ресурсов / А. В. Гавеман; ред. Б. А. Федорович // АН СССР, СОПС. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. — 286 с.
2. Петрусеви́ч М. Н. Геологосъемочные и поисковые работы на основе аэрометодов. / М. Н. Петрусеви́ч. — Госгеолтехиздат, 1954. — 108 с.
3. Петрусеви́ч М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. / М. Н. Петрусеви́ч, под ред. А. А. Богданова. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 407 с.
4. Методическое руководство по использованию материалов аэрофотосъемки при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых в масштабах 1:50 000-1:200 000 юго-запада СССР (Украина). Отчет по работе отряда № 4 КАТП 12 за 1964-65 гг. Аэрогеологический трест Мингеологии СССР. Рук. А. А. Звягельский. — М., 1966. — Кн. 1. — 263 с. ДНВП "Геоинформ України". Рег. № 26115.
5. Звягельский А. А. Использование материалов аэрофотосъемки при геологическом картировании и поиске полезных ископаемых масштаба 1:50000-1:200000. Юго-запад СССР (Украина). Методическое руководство. / А. А. Звягельский под ред. В. А. Нечаева. — М.: Недра, 1969. — 214 с.
6. Комплексная геологическая карта листа XVI (Лохвиця) масштаба 1:200 000 / И. С. Причина [и др.]. Отчет ГСП-34 Кременчугской экспедиции по работам 1964–1967 гг. Киевгеология, К., 1967. — Кн.1: 390 с., кн.2: — 246 с. ДНВП "Геоинформ України". Рег. № 27696.
7. Николаенко Б. А. О рациональной технологии дешифрирования аэрофотоснимков при крупномасштабном геологическом картировании закрытых районов / Б. А. Николаенко // Геол. журнал. — 1970. — т. XXX. — вып. 3. — С. 151–152.
8. Временные методические рекомендации по применению материалов высотной и радиолокационной аэросъемки при геологическом картировании Украинского щита / Б. А. Николаенко [и др.]. — К., 1980. — 147 с.
9. Временные методические рекомендации по применению материалов космической съемки при геологическом изучении платформенной части УССР / Б. А. Николаенко. [и др.]. — К., Мингео УССР, ЦТЭ, 1983. — 77 с.
10. Аерокосмічні дослідження геологічного середовища: науково-методичний посібник. / А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько [та ін.].— Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. Державна геологічна служба. — К., 2010. — 246 с.
11. Карта линейных и кольцевых структур Украинской ССР (по материалам космических съемок) Масштаб 1:1 000 000 / Б. А. Николаенко, С. С. Быстревская, В. Т. Воловик, В. К. Гавриш / Под ред. А. И. Зарицкого. — К.: Наук. думка, 1989. — 113 с.
12. Лялько В. И. О возможности дистанционных геохимических поисков некоторых полезных ископаемых на основе лидарной спектроскопии / В. И. Лялько // Геол. журн.— 1979. — №5. — С. 19–25.
13. Лялько В. И. Дистанционные геотермические поиски полезных ископаемых / В. И. Лялько, М. М. Митник // Геол. журн. — 1975.— №6.— С. 27–46.
14. Митник М. М., Вульфсон Л. Д., Шпортюк З. М. Геотермические поиски полезных ископаемых / В. И. Лялько [и др.]. — К.: Наук. думка, 1979. — 148 с.

15. Быстревская С. С. Глубинная структура земной коры по космическим изображениям (на примере Восточного Приазовья) / С. С. Быстревская, Н. Н. Шаталов // Исследование Земли из космоса. — 1980 — № 5. — С. 10–16.
16. Шаталов Н. Н. К вопросу об использовании результатов дешифрирования космо- и аэрофотоснимков при изучении особенностей геологического строения Восточного Приазовья / Н. Н. Шаталов // Геол. журн. — 1982. — Т. 42. — № 1. — С. 68–76.
17. Борисенко Л. С. Новейшая тектоника Крыма по данным геолого-геофизических и аэрокосмических исследований / Л. С. Борисенко, И. И. Чебаненко, Н. Н. Шаталов // Геол. журн. — 1988. — № 3. — С. 3–11.
18. Чебаненко И. И. Использование аэрокосмических снимков для выявления разломов и неотектонических движений Крыма и Приазовья / И. И. Чебаненко, Н. Н. Шаталов, Л. С. Борисенко // Аэрокосмическое изучение современных и новейших тектонических процессов. Сб. научн. тр. — М.: Наука, 1988. — С. 12–16.
19. Основные структуры Приазовского блока Украинского щита по аэрокосмическим данным / И. И. Чебаненко [и др.] // Тектоносфера Украины. Сб. научн. тр. — К.: Наук. думка, 1989. — С. 80–86.
20. Тектонические особенности сквозных глубинных рудоконцентрирующих структур юго-восточной части УССР / И. И. Чебаненко [и др.] // Сквозные рудоконцентрирующие структуры. Сб. научн. тр. — М.: Наука, 1989. — С. 104–110.
21. Верховцев В. Г. Кольцевые структуры Приазовского блока Украинского щита по данным дешифрирования космических снимков / В. Г. Верховцев, П. С. Веремьев, Н. Н. Шаталов // Исследование Земли из космоса. — 1989. — № 6. — С. 15–22.
22. Докембрийские структуры по данным аэрокосмических и наземных геологических исследований (отв. ред. Н. П. Гречишников). — К.: ИГФМ АН УССР, 1983. — 64 с.
23. Космотектоническая карта Украинского щита / Я. Н. Белевцев [и др.] // Исследование Земли из космоса. — 1982. — № 4. — С. 15–14.
24. Космогеологическая карта линейных и кольцевых структур территории СССР. Масштаб 1:5 000 000 / Гл. ред. А. Д. Щеглов. — М. Мингео СССР, 1980.
25. Космогеологическая карта СССР. Масштаб 1:2 500 000. / Гл. ред. Е. А. Козловский, ред. И. Н. Брюханов, Н. В. Межеловский. — М.: Мингео СССР, 1984.
26. Прохоров А. Н. Методика проведения комплексных геологосъемочных и поисковых работ в закрытых районах / А. Н. Прохоров. — Л.: Недра, 1971. — 136 с.
27. Изучение структурных особенностей северного борта ДДВ на основе комплексной интерпретации данных дешифрирования материалов дистанционных съемок. Отчет по титулу 21/89 за 1989–1991 гг. Рук. Л. В. Шадренко. ЦТЭ Мингео УССР. К., 1991. — Кн. 1 — текст 133 с. ДНВП “Геоинформ України”. Рег. № 52949.
28. Региональные аэрокосмические исследования Предкарпатского прогиба и складчатой зоны Карпат в масштабе 1:200 000. Отчет о НИР. Рук. А. Г. Мычак. Об-ние Укрнефть Миннефтепрома, Киевский отд. ИГиРГИ АН УССР, К., 1986. — 151 с. ДНВП “Геоинформ України”. Рег. № 49396.
29. Тектоника нефтегазоносных областей юго-запада СССР (объяснительная записка к тектонической карте нефтегазоносных областей юго-запада СССР с использованием материалов космических съемок. Масштаб 1:500 000) / Р. Г. Гарецкий, В. В. Глушко, Н. А. Крылов [и др.]. — М.: Наука, 1988. — 85 с.
30. Філіпович В. Є. Особливості комплексування дистанційних та традиційних геологічних методів при пошуках кольорових металів / В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько, Д. О. Тарангул // Космічна наука і технологія. — 2002. — Т. 8. — № 2/3. — С. 170–173.
31. Методика інтерпретації багатоспектральних даних при пошуках кольорових металів / В. Є. Філіпович [та ін.] // Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. (за ред. В. І. Лялька та М. О. Попова). — К.: Наук. думка, 2006. — С. 203–211.
32. Розробка методичних рекомендацій з аерокосмогеологічних досліджень та використання їх результатів при ГЗР. Звіт з НДР (заключний). Кер. А. Г. Мичак. ЦАКДЗ ІГН НАНУ, ПДРГП “Північгеологія”. — Київ, 2005. — 231 с. ДНВП “Геоинформ України”. Рег. № 60567.
33. Дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок з метою геологічного довивчення території листа М-35-X (Олевськ) в масштабі 1: 200 000 по титулу 107. Звіт з НДР (заключний). ЦАКДЗ ІГН НАНУ, ПДРГП “Північгеологія”, Житомирська ГЕ. — К., 2005 р. — 100 с.
34. Дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок у мультиспектральних діапазонах та складання на його основі комплексу цифрових карт (ГС-технологія) території аркушу М-35-VI (Хойники) в масштабі 1: 200 000 у межах України” Звіт з НДР (заключний). Кер. В. Є. Філіпович. ЦАКДЗ ІГН НАНУ, ПДРГП “Північгеологія”, Житомирська ГЕ. — К., 2007. — 66 с.
35. Дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок з метою геологічного довивчення у межах України територій листів М-35-IV (Рубель) та М-35-V (Лельчиці) в масштабі 1: 200 000. Звіт з НДР (заключний). Кер. В. Є. Філіпович. ЦАКДЗ ІГН НАНУ, ПДРГП “Північгеологія”, Житомирська ГЕ. — К., 2008. — 95 с.
36. Дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок у мультиспектральних діапазонах та складання на його основі комплексу цифрових карт (ГС-технологія) території аркушів М-34-VI (Владава); М-35-I (Камінь-Каширський) масштабу 1: 200 000 в межах України. Звіт з НДР (заключний). Кер. А. Г. Мичак. ЦАКДЗ ІГН НАНУ, ПДРГП “Північгеологія”, Рівненська ГЕ. — К., 2008. — 133 с.
37. Складання методичних рекомендацій з комплексного використання аерокосмічних методів досліджень геологічного середовища. Звіт з НДР (заключний). Кер. А. Г. Мичак. ЦАКДЗ ІГН НАНУ, ПДРГП “Північгеологія”. — К. 2010. — 275 с.
38. Бортник С. Ю. Морфоструктури центрального типу території України: просторово-часовий аналіз: авто-

- реф. дис... д-ра геогр. наук: 11.00.04 / С. Ю. Бортник. — Київ: Б.в., 2002. — 32 с.
39. Пазинич В. Г. Придніпров'я у перигляціалі. Част. перша. Зміни водності річок / В. Г. Пазинич // Супутник Київського географічного щорічника. Вип. 2. — К., 2004. — 156 с.
 40. Пазинич В. Г. Науково-пізнавальні можливості цифрових моделей поверхні Землі / В. Г. Пазинич // Київський географічний щорічник. Науковий збірник. — 2005. — Вип. 5. — С. 92–97.
 41. Фізична географія та геоморфологія. — К.: ВГЛ “Обрії”, 2009. — Вип. 56. — 360 с.
 42. Азімов О. Т. Дослідження диз'юнктивних дислокацій земної кори аерокосмічними методами (на прикладі регіонів України): Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра геол. наук: 04.00.01 “Загальна та регіональна геологія” / Олександр Тельманович Азімов. — К., 2008. — 37 с.
 43. Азімов О. Т. Ландшафтні геоіндикатори характеристик розривних порушень як основа їх вивчення дистанційними методами. 1. Морфокінематичні ознаки диз'юнктивних структур / О. Т. Азімов // Геоінформатика. — 2009. — № 1. — С. 69–81.
 44. Азімов О. Т. Ландшафтні геоіндикатори характеристик розривних порушень як основа їх вивчення дистанційними методами. Геодинамічні ознаки диз'юнктивних структур / О. Т. Азімов // Геоінформатика. — 2009. — № 2. — С. 71–79.
 45. Azimov O. Recent stress deformation in disjunctive zones on the base of remote sensing data / O. Azimov // Геофиз. журн. — 2010. — 32. — № 4. — С. 8–12.
 46. Азімов О. Т. Оперативне прогнозування нафтогазових пасток неантиклінального та комбінованого типів за результатами аерокосмогеологічних досліджень / О. Т. Азімов // 36. наук. пр. ІГН НАН України. — К., 2009. — Вип. 2. — С. 13–19.
 47. Азімов О. Т. Методологія дослідження будови Українського щита на основі комп'ютерних дистанційних технологій у контексті уточнення Держгеолкарт-200 [Електронний ресурс] // Archives EAGE: [сайт] / О. Т. Азімов. — Режим доступу: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=43751>. — Заголовок з екрану.
 48. Кореляція структурно-геологічних і аерокосмічних досліджень з метою уточнення будови та розвитку Оріхово-Павлоградської міжблокової зони Українського щита / О. М. Пономаренко [та ін.]. // Геоінформатика. — 2010. — № 4. — С. 69–76.
 49. Азімов О. Т. Застосування дистанційних методів для обґрунтування можливості поховання радіоактивних відходів ЧАЕС у глибоких свердловинах у Коростенському масиві кристалічних порід / О. Т. Азімов // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку: 36. наук. пр. — К.: ДНВП “Картографія”, 2010. — Вип. 4. — С. 27–34.
 50. Верховцев В. Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку. — Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.01 — загальна і регіональна геологія / В. Г. Верховцев. — Київ, 2008.
 51. Бусыгин Б. С. Комплексование аэрокосмических и геолого-геофизических материалов при прогнозировании золоторудной минерализации / Б. С. Бусыгин, С. Л. Никулин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2009. — Т. 6. — № 2. — С. 17–23.
 52. Бусыгин Б. С. Генерализация космических снимков для повышения эффективности решения геологических задач методами линеamentного анализа / Б. С. Бусыгин, С. Л. Никулин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2010. — Т. 7. — № 2. — С. 303–309.
 53. Бусыгин Б. С. Использование линеamentного анализа космических снимков для прогнозирования рудных объектов в пределах Восточно-Африканского рифта. / Б. С. Бусыгин, С. Л. Никулин // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2016. — №9. — С. 4–11. Режим доступу до журналу: <http://www.ujrs.org.ua/ujrs>. Назва з екрану.
 54. Закон України від 27.07.94 № 132/94-ВР “Кодекс України про надра”.
 55. Положення про стадії геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини. Затверджено наказом Геолкому України від 15.02.2000 № 19 і зареєстровано в Міністерстві юстиції України 2 березня 2000 року за № 124/4345. Офіційний вісник України від 24.03.2000. — С. 149, стаття 395, код акту 15126/2000.
 56. Положення про стадії геологорозвідувальних робіт на підземні води (гідрогеологічні роботи) Затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 16.07.2001 № 260 і зареєстровано в Міністерстві юстиції України 30 липня 2001 р. за № 648/5839. Офіційний вісник України від 17.08.2001. — 2001. — № 31. С. 417 стаття 1445, код акту 19646/2001.
 57. Галузевий стандарт України (ГСТУ 41-00032626-00-011-99). Етапи і стадії геологорозвідувальних робіт на нафту і газ. — Київ, 1999. — 18 с.
 58. Організація та проведення геологічного довивчення раніше закартованих площ масштабу 1:200 000, складання та підготовка до видання Державної геологічної карти України масштабу 1:200 000. Інструкція. (Геолком України). — К., 1999. — 295 с.
 59. Організація та проведення геологозйомочних робіт і складання та підготовка до видання Геологічної карти України масштабу 1:50 000 (1:25 000). Інструкція. (Департамент геології та використання надр Міністерства екології та природних ресурсів України). — К., 2002. — 204 с.
 60. Информация ИСЗ “Січ-1” в решении актуальных проблем нефтегазовой геологии / В. М. Перерва [и др.]. // Космична наука і технологія. — 1996. — Т. 2. — № 3–4. — С. 49–54.
 61. Нові супутникові технології у процесах пошуку, розвідки і розробки родовищ нафти і газу / В. М. Перерва [та ін.]. // Космична наука і технологія. — 1999. — Т. 5. — № 2–3. — С. 31–33.

62. Перерва В. М. Оптимізація процесів пошуку та розробки родовищ нафти і газу на основі супутникових технологій / В. М. Перерва [та ін.]. // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві. — К.: ЦАКДЗ ІГН НАН України, 1999. — С. 202–211.
63. Перерва В. М. Теоретико-методические основы и результаты поисков газовых месторождений на шельфе Черного моря с использованием материалов космических съемок / В. М. Перерва, В. И. Лялько, Ю. В. Костюченко // Геология и полезные ископаемые Черного моря. Доклады международной конференции. — Киев, 1999. — С. 39–49.
64. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / Под ред. акад. НАН Украины В. И. Лялько и докт. техн. наук М. А. Попова. — К.: Карбон-Лтд, 2012. — 436 с.
65. Мультиспектральный структурно-польовий спосіб прогнозування покладів нафти і газу / В. М. Перерва, М. О. Тепляков, О. Архіпов [та ін.]. Деклараційний патент на винахід UA №63073A. — Опубліковано 15.01.2004.
66. Региональные аэрокосмические исследования Предкарпатского прогиба и складчатой зоны Карпат в масштабе 1:200 000. Отчет о НИР. Рук. А. Г. Мычак. — ВГФ, УТГФ, К., 1986. — 151 с.
67. Нові методи в аерокосмічному землезнавстві Методичний посібник по тематичній інтерпретації матеріалів аерокосмічних зйомок / В. І. Лялько, О. Д. Федоровський, В. М. Перерва [та ін.]. — К., 1999. — 264 с.
68. Сучасний стан та перспективи космогеологічних досліджень в Україні / А. Г. Мичак [та ін.]. // Сучасний стан і задачі розвитку регіональних геологічних досліджень. Матеріали III науково-виробничої наради геологів-зйомщиків України. 8–12 вересня 2005 року, Рівне–Київ. УДГРІ, 2005. — С. 187–189.
69. Філіпович В. Є. Особливості комплексування дистанційних та традиційних геологічних методів при пошуках кольорових металів / В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько, Д. О. Тарангул // Космічна наука і технологія. — 2002. — Т. 8. — № 2/3. — С. 170–173.
70. Розробка методичних рекомендацій з аерокосмогеологічних досліджень та використання їх результатів при ГЗР. Звіт з НДР (заключний). Кер. А. Г. Мичак. ЦАКДЗ ІГН НАНУ. Геоінформ. — Київ, 2005. — 231 с.
71. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька та М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 357 с.
72. Аерокосмічні дослідження геологічного середовища: науково-методичний посібник / А. Г. Мичак [та ін.]. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. Державна геологічна служба. — К., 2010. — 246 с.
73. Філіпович В. Є., Мичак А. Г., Тарангул Д. О. та ін. Перспективи пошуків міді у межах Рафаловського рудного вузла на основі комплексної інтерпретації матеріалів аерокосмічних та геолого-геофізичних зйомок. Звіт з НДР (заключний). Кер. В. Є. Філіпович. ЦАКДЗ ІГН НАНУ. ПДРГП “Північгеологія”, Рівненська ГЕ. — Київ, 2005. — 109 с.