

ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ПРОДУКТІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗМІН ТЕРИТОРІЙ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ*

Яйлимов Богдан Ялкапович

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, м. Київ,
yailymov@gmail.com

Яйлимова Ганна Олексіївна

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ,
anna.yailymova@gmail.com

Шелестов Андрій Юрійович

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ,
andrii.shelestov@gmail.com

Лавренюк Алла Миколаївна

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ,
alla.lavrenyuk@gmail.com

Дана робота присвячена дослідженню тимчасових змін типів земного покриву в межах природно-заповідного фонду України. Перш за все, це аналіз зміни лісового покриву (вирубка чи лісовідновлення) за відкритими даними Global Forest Change 2000–2020 з просторовою роздільною здатністю 30 м з визначенням найбільш проблемних типів заповідників, де відбувалась вирубка лісів у 2000–2020 рр. Іншим аспектом дослідження є моніторинг використання земель природно-заповідного фонду для сільського господарства, зміни площ сільськогосподарських полів у часі та їх порівняння. Це дослідження проведено на основі власних карт земного покриву з просторовою роздільною здатністю 10 м за 2016–2020 рр., а також у порівнянні з відкритим набором даних World Cover Map для України за 2020 р. Для створення власних карт земного покриву для всієї України використані оптичні супутникові (Sentinel-2) та радарні дані (Sentinel-1). У роботі описана технологія побудови карт класифікації земного покриву для великих територій на основі супутникових даних. Розглянуто основні етапи попередньої обробки супутникових даних, методологія злиття даних різної та однорідної природи за різні часові дати. За допомогою наборів геопросторових продуктів досліджено динаміку змін площі лісу та посівних угідь за різними видами природно-заповідного фонду України за 2000–2020 рр. Найбільшу частку ліси займають в заповідних урочищах, парках-пам'ятках садово-паркового мистецтва та дендрологічних парках (більше 73 % лісів), з яких найбільші зміни відбулися в заповідних урочищах на 1,81 % площ (1,7 тис. га) та дендрологічних парках — на 1,02 % площ (17 га). Дослідження та результати показали, що в цілому на національному рівні зміни з часом не суттєві (до 3 % для лісів і до 2 % для сільськогосподарських площ), однак вони мають велике значення, оскільки природні ресурси обмежені, а якість життя людства залежить насамперед від природи, екології та якості навколишнього середовища.

Ключові слова: аналіз даних, заповідники, супутникові дані, класифікаційні карти, екологія.

* Автори вдячні Світовому банку за підтримки Європейського Союзу за програму «Підтримка прозорого управління земельними ресурсами в Україні» (ukraine-landpolicy.com/uk/), яка спрямована на вирішення питань моніторингу посівів та прогнозування врожаю на території України до 2023 р. включно, а також за проєкт e-shape Horizon 2020 (<https://e-shape.eu/>) та програму GEO-Amazon Earth Observation Cloud Credits Programme (www.earthobservations.org/aws.php).

Вступ

З появою нового джерела інформації, супутникових даних, у світі виникло багато нагальних питань і проблем, які вирішуються за допомогою саме цих даних. Зокрема, це завдання моніторингу сільськогосподарських площ [1], лісового покриття [2], водних об'єктів [3] тощо. У вирішенні цих питань зацікавлена передусім держава та уряд країни, в якій проводиться дослідження. Розуміння проблеми в цілому дозволить уряду прийняти правильні управлінські рішення для запобігання глобальним катастрофам.

Глобальна втрата біорізноманіття значною мірою зумовлена діяльністю людини, наприклад перетворенням природних ландшафтів у ландшафти, де домінує людина. Популярним підходом до пом'якшення зміни земного покриття є визначення заповідних територій (наприклад, заповідників). Заповідники традиційно сприймаються як опорні пункти збереження біорізноманіття. Зокрема, вчені з Китаю вивчають вплив зміни біорізноманіття заповідників на життя їхніх мешканців — панд [4], а також вплив сільськогосподарської діяльності людини на національні природні заповідники [5]. Американці вивчають типи земного покриття та рівень рослинності в сільськогосподарській діяльності людини в Національних природних заповідниках для дистанційного моніторингу лісів, зокрема, в гірських районах [6]. В Австралії велика проблема полягає в тому, що сільське господарство домінує в земному покритті на досліджуваній території, і це є основною загрозою для густих лісів, які ще залишилися [7]. У [8] автори оцінили вміст солі в ґрунті (SSC — Soil Salt Content) озера Ебі-Нур Національного природного заповідника, північно-західний Китай, на основі моделі нейронної мережі Bootstrap-BP та оптимальних спектральних індексів.

У даній роботі авторами проаналізовано зміни в часі таких важливих для заповідників показників, як площа лісів та використання заповідних територій для сільського господарства. З цією метою використані як існуючі продукти супутникового моніторингу, зокрема World Cover Earth Map [9], Global Forest Change 2000–2020 [10], так і власні продукти земного покриття, отримані для всієї України [11, 12]. На основі аналізу зроблено висновок, що загалом на національному рівні зміни з часом не суттєві (до 3% для лісів і до 2% для сільськогосподарських площ), однак мають велике значення, оскільки природні ресурси обмежені, а якість життя людства залежить насамперед від природи, екології та навколишнього середовища.

Дані

1. Природні заповідники України. У дослідженні розглянуто всі типи заповідників України [13]. Загальна їх кількість становить 7108, чотири з яких знаходяться в морі, тому виключені з подальшого аналізу. Загальна площа всіх заповідників України становить 3,8 млн га. Проте існують і так звані «вкладені» заповідники, тобто коли один тип заповідника знаходиться всередині іншого або має просторовий перетин з ним (рис. 1, приклад, коли одна територія віднесена до різних типів заповідників). У зв'язку з цим загальна площа заповідників становить 3,44 млн га, або 5,7 % від загальної території України. У даному дослідженні розглянемо територію в межах кожного окремого заповідника.

Аналізуючи заповідники за кількістю та площею (табл. 1, розподіл природних заповідників України за типами), можна зробити висновок, що найбільша площа належить заказникам (33,8 % усіх заповідників); національні природні парки займають 27,2 %, регіональні ландшафтні парки — 17,6 %, біосферні заповідники — 13 %. Найбільш охороняються природні заповідники, які займають 4,7 % усіх заповідників [14].



Рис. 1

Таблиця 1

Тип природного заповідника	Кількість	Площа (га)	% до загальної площі
Заказник	3027	1287,9	33,8
Пам'ятка природи	2618	25,6	0,7
Заповідне урочище	722	94,3	2,5
Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва	528	12,8	0,3
Регіональний ландшафтний парк	52	668,2	17,6
Національний природний парк	51	1035,1	27,2
Дендрологічний парк	48	1,7	0,0
Ботанічний сад	25	1,0	0,0
Природний заповідник	18	179,7	4,7
Зоологічний парк	10	0,4	0,0
Біосферний заповідник	5	498,3	13,1
Загалом	7104	3804,9	100,0

2. Карти класифікації земного покриття. Для аналізу змін різних типів земного покриття в межах природно-заповідного фонду України використовувалися карти земного покриття з відкритих джерел та комерційні карти.

2.1. Карта WorldCover для України. WorldCover (WC) [9] надає новий базовий глобальний продукт земного покриття з роздільною здатністю 10 м за 2020 р. на основі даних Sentinel-1 і 2, який розроблений і валідований майже в реальному часі. Продукт ESA WorldCover 10 m 2020 V100 поставляється в гранулах 3x3 градуси у форматі хмарно-оптимізованих GeoTIFF (COG — Cloud Optimized GeoTIFF) у проекції EPSG:4326 (географічна широта/довгота CRS — Coordinate Reference Systems). Всього налічується 2651 гранула, 25 з яких охоплює територію України (рис. 2, карта WorldCover для України у 2020 р.).

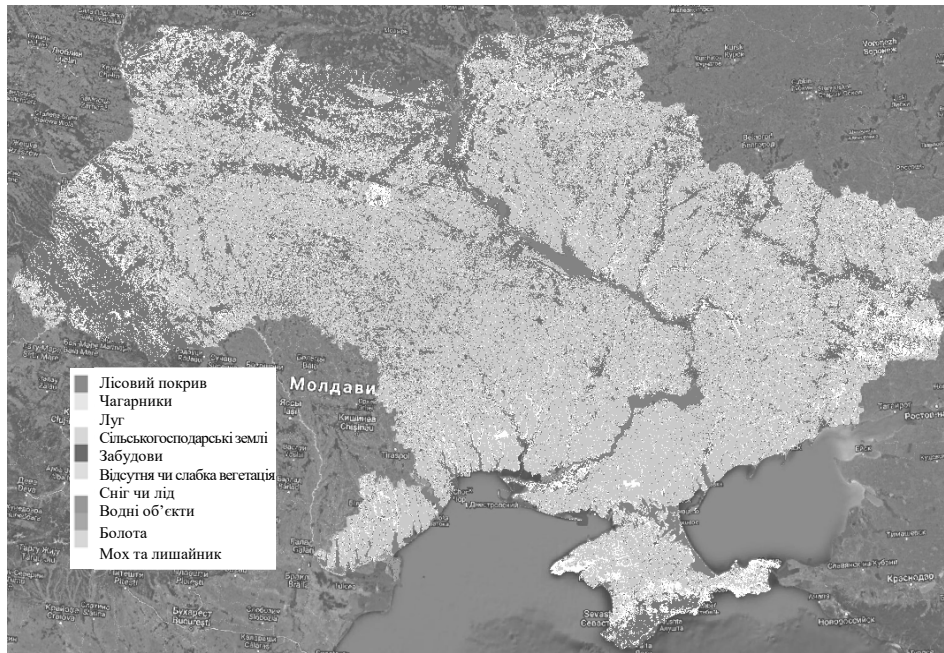


Рис. 2

Основні класи для України — це дерева, чагарники, пасовища, посівні угіддя, забудова, рідка рослинність, постійні водойми, трав'янисто-болотні угіддя. Продукт WorldCover 2020 v100 досягає загальної точності 74,4 % [15].

2.2. Карта земного покриття (Інститут космічних досліджень України). Інститут космічних досліджень (ІКД) України надає карти земного покриття для всієї України з 2016 р. на основі супутникових даних Sentinel-1 і 2 зі спеціальною роздільною здатністю 10 м. Автори застосували власні методи класифікації часових рядів супутникових даних з використанням глибокого навчання для створення карт земного покриття та типів культур для України [11, 12]. Основні класи такі ж, як і у карти WorldCover, а загальна точність становить 95 %. Технологія, за якою отримана та апробована класифікаційна карта на державному рівні, використовується на сайті Держгеокадастру за 2019 р. [16], а також у багатьох міжнародних проектах (рис. 3).

Реалізована технологія побудови карт класифікації земного покриття для великих територій на основі даних високого розрізнення складається з наступних етапів (рис. 4, загальна схема методу картографування земного покриття):

- збір та попередня обробка даних;
- класифікація, побудова результуючої карти, покращення отриманих результатів класифікації (постобробка);
- візуалізація.

При розробці карти земного покриття для великої території використовуються як радарні, так і оптичні супутникові дані. На основі одного знімка неможливо отримати достовірну карту, оскільки оптичні та радарні дані мають недоліки. Тому для класифікації як вхідні дані використовувались часові ряди даних. Оскільки ці дані мають різне просторове розрізнення і різну природу, то потребують різних типів попередньої обробки. Таким чином, для забезпечення попередньої обробки виконувалося злиття даних на рівні пікселів. Отже, на етапі попередньої обробки даних здійснювалися радіометрична та геометрична корекція, ортотрансфор-

мування, атмосферна корекція (лише для оптичних даних), фільтрація знімків (лише для радарних даних), перепроєктування даних до однієї проекції, зведення їх до одного просторового розрізнення та нормалізація. При цьому вектор інформативних ознак розширювався для подальшої класифікації шляхом злиття різночасових даних різної природи на рівні пікселів (оптичних та радарних, причому оптичні мають значення пікселів, яких не було в місцях, де дані були захмарені (за рахунок відновлення пропусків даних)).

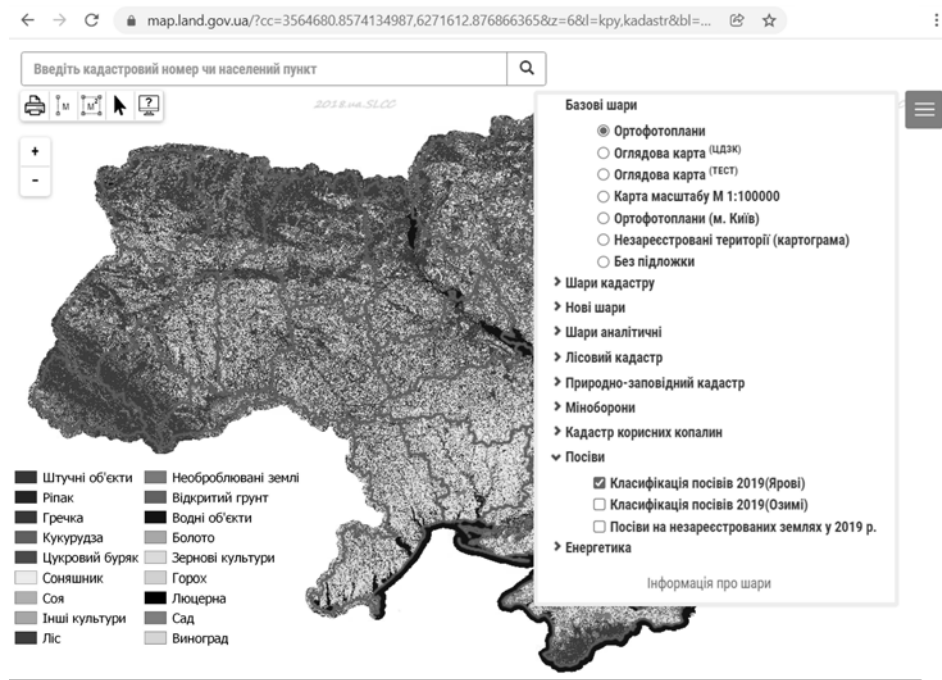


Рис. 3

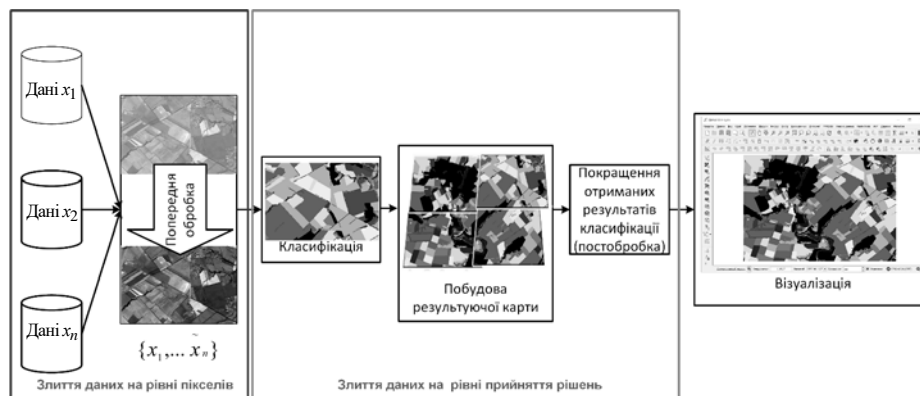


Рис. 4

Для класифікації даних використовувався ансамбль нейронних мереж на основі багатоварових перцептронів (MLP — Multilayer Perceptron), в якому кількість прихованих нейронів підбиралась залежно від кількості каналів зображень, поданих на навчання. Кожна нейронна мережа після класифікації видає апостеріорну ймовірність належності вхідного пікселя до певного класу. В ан-

самблі рахується середня апостеріорна ймовірність виходів усіх мереж. За допомогою отриманих ймовірностей проводилося злиття даних на рівні прийняття рішень для визначення належності кожного пікселя до певного класу, результатом якого була карта класифікації для кожної із сцен. У результаті при отриманні карти класифікації земного покриття можуть виникати помилки класифікації, коли в межах одного полігону будуть пікселі, які належать різним класам, оскільки класифікація виконується попіксельно, що потребує додаткового етапу постобробки. Для покращення карти земного покриття використані методи злиття растрової (карта класифікації) та векторної (містить межі полігонів) інформації [17]. У результаті в межах кожного полігону пікселі відносяться до одного класу.

Супутникові дані надаються в різному вигляді (просторове розрізнення, рівень попередньої обробки супутникових даних, географічна прив'язка тощо). Щоб побудувати карту земного покриття для великої території на основі таких різномірних даних, необхідно провести їх попередню обробку та злиття до гомогенного виду.

Злиття даних різних супутників за різні дати відбувалося в кілька етапів: отримання нових даних, їх попередня обробка, злиття і збереження в уніфікованому форматі. Даний функціонал наведений у вигляді схеми на рис. 5. Для кожного типу даних реалізований окремий процес обробки.

У межах даного процесу отримано знімки з оптичних $X_L = \{X_i\}_{i=1}^k$ та радіолокаційних $X_R = \{X_i\}_{i=1}^k$ приладів, необхідні для використання на досліджуваній території. Можливі кілька варіантів завантаження даних (за конкретну дату чи за діапазон дат). Після отримання завантажених даних (як оптичних, так і радіолокаційних), що покривають досліджувану територію, виконувалась їх попередня обробка.

Попередня обробка оптичних даних складається з наступних етапів:

- для виявлення хмар та тіней від них використовувався алгоритм Fmask [18]:

$$\overline{X}_L = \{f_{fmask}(X_L, T) \cup X_L\};$$

- кожне супутникове зображення перепроєктовувалося у проекцію AEA — Albers Equal Area:

$$\overline{X}_{AEA} = f_{reproj}(\overline{X}_L);$$

- радіометрична та геометрична корекція, ортотрансформування, атмосферна корекція. Дані кроки виконувались із використанням продуктів для оптичних знімків (залежно від супутника):

$$\overline{X}_{TOA} = f_{TOA}(\overline{X}_{AEA}, M).$$

Для попередньої обробки радарних даних виконувались наступні кроки:

- перетворення цифрових значень (DN) в коефіцієнт зворотного розсіювання (σ_0) з використанням коефіцієнтів з файлу метаданих продукту;
- фільтрація знімків за допомогою віконного фільтра:

$$\overline{X}_{filter} = f_{filter}(\overline{X}_R);$$

- ортотрансформування за допомогою SRTM DEM;

- кожне супутникове зображення перепроєктовувалося у проєкцію АЕА:

$$\bar{X}_{AEA} = f_{reproj}(\bar{X}_{filter});$$

- зміна просторового розрізнення зображень.

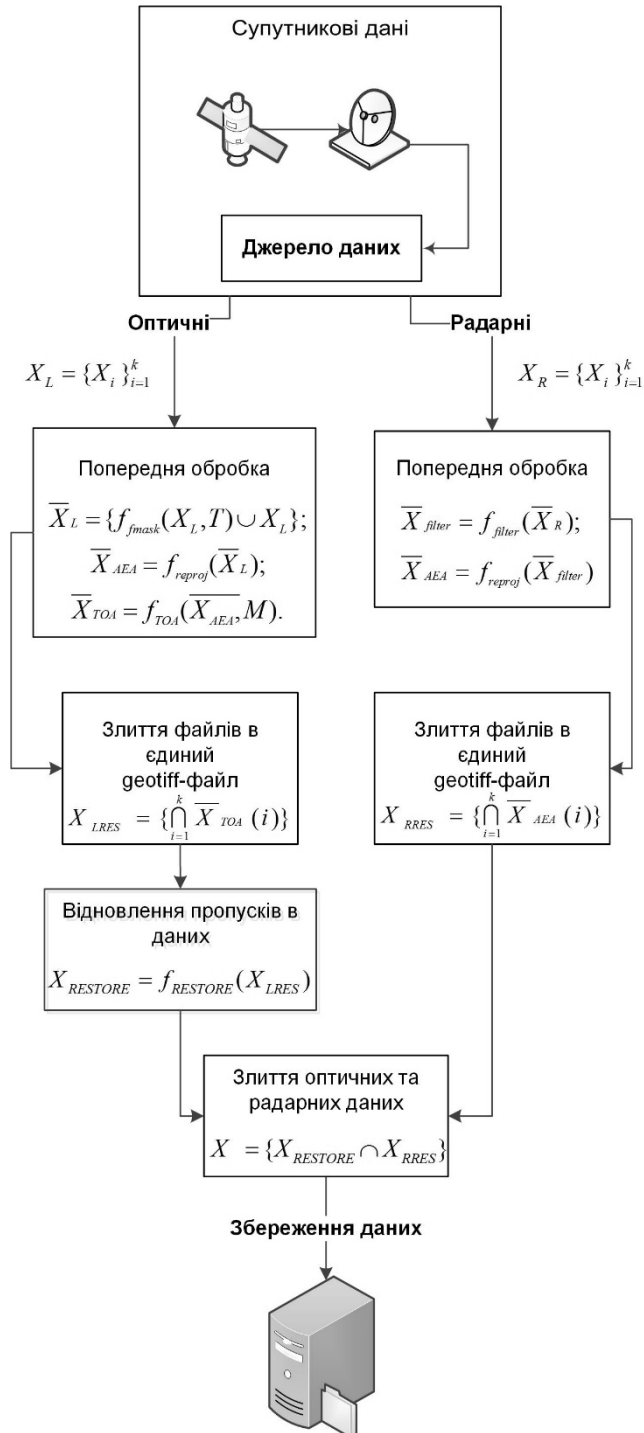


Рис. 5

Наступним етапом обробки супутникових даних був процес злиття всіх каналів, як оптичних $X_{LRES} = \{\bigcap_{i=1}^k \overline{X_{TOA}(i)}\}$, так і радіолокаційних $X_{RRES} = \{\bigcap_{i=1}^k \overline{X_{AEA}(i)}\}$, у два загальні файли. Після обробки даних вони зберігаються як растровий знімок, що містить всі канали, які покривають досліджувану територію. Таким чином, відбувається злиття часового ряду супутникових даних (окремо радіолокаційних та оптичних) в один вектор (рис. 6, часовий ряд оптичних та радіолокаційних даних).

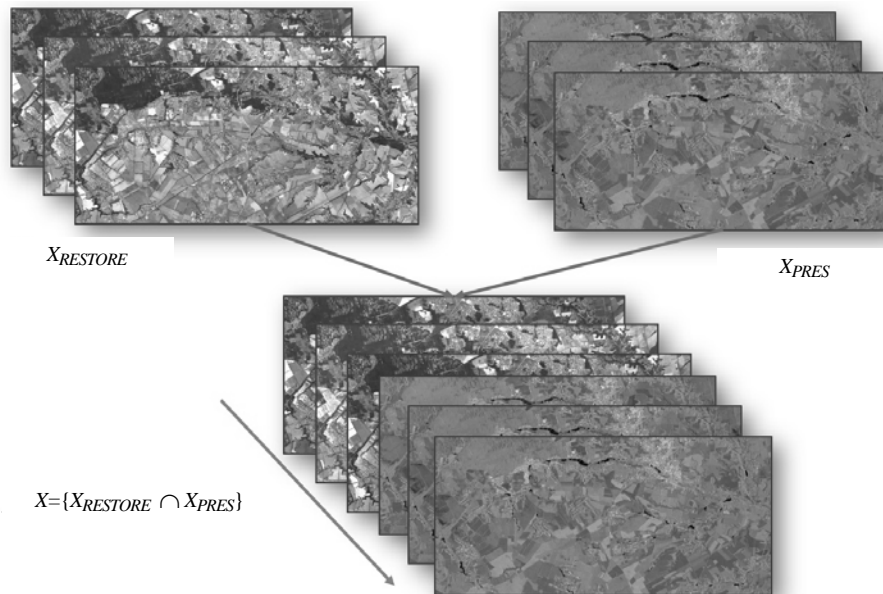


Рис. 6

Важливим етапом обробки оптичних знімків є відновлення пропусків в даних у випадку їхньої значної захмареності за допомогою часового ряду даних. Реалізація цього етапу полягала в послідовному застосуванні нейронних мереж різного типу для відновлення невизначеностей (хмар на знімках). Процедура відновлення виконувалась відповідно до розробленого методу на основі самоорганізованих карт Кохонена (SOM — Self-Organizing Maps), детально описаних в [18]:

$$X_{RESTORE} = f_{RESTORE}(X_{LRES}).$$

Отримані оптичні та радарні знімки об'єднувалися в один файл:

$$X = \{X_{RESTORE} \cap X_{RRES}\}.$$

Методи обробки часових рядів оптичних та радіолокаційних супутникових даних були розроблені з метою забезпечення злиття даних на рівні пікселів за рахунок формування узагальненого вектора ознак з урахуванням «пропусків» у оптичних даних.

Таким чином, після обробки результуючий файл зберігається в форматі GeoTIFF, що містить набір значень всіх радарних та оптичних знімків, причому оптичні мають значення пікселів, яких не було в місцях, де дані були захмарені (за рахунок відновлення пропусків даних), що дозволяє збільшити точність класифікації та побудови карти земного покриву.

3. Набір даних Хансена (Hansen Dataset) про лісовий покрив. Для аналізу змін у природних заповідниках України використано набір даних Global Forest Change 2000–2020 [10]. Цей набір створений на основі супутникових даних Landsat для всього світу з просторовою роздільною здатністю 30 м.

Для аналізу зміни площі лісу застосовані три набори даних із Global Forest Change 2000–2020:

- покрив дерев у 2000 р. (treecover 2000),
- глобальне збільшення лісового покриву за 2000–2012 рр. (gain),
- рік втрати лісового покриву (lossyear).

«Деревний покрив у 2000 р., визначений як покриття кроною для всієї рослинності висотою понад 5 м, кодується у відсотках на комірку вихідної сітки в діапазоні 0–100». Бінарний растр лісової (зі значенням «1») та нелісової (зі значенням «0») площ у 2000 р. створено з використанням порогових значень відсотка деревного покриву від 50 до 100 % для території України.

Оскільки час зміни лісу — тривалий період, у даному дослідженні розглянуто п'ятирічні інтервали, протягом яких досліджували площу лісу (2000, 2005, 2010, 2015, 2020). Від початкової маски лісу віднімалися значення, які були в наборі даних «lossyear» за період дослідження. Фінальна маска для попереднього періоду розглядалася як початкова маска лісу для кожного наступного періоду.

Набір даних Global Forest Change 2000–2020 доступний у вигляді растрової маски за період з 2000 по 2012 рр. Тому таку маску не можна використовувати для кожного року окремо, оскільки невідомо, в якому році відбулося збільшення площі лісу. Виходячи з періодів даних досліджень, доцільніше застосовувати інформацію про приріст лісового покриву за 2010 р. Таким чином, для України отримано п'ять лісових масок у п'яти часових зрізах.

Аналіз змін земного покриву у заповідниках

У даному розділі представлені результати аналізу зміни площі сільськогосподарських угідь та лісового покриву в межах природно-заповідного фонду України за супутниковими продуктами, отриманими за допомогою супутникових даних Sentinel та Landsat.

1. Аналіз посівних угідь. На основі карт земного покриву (ІКД) з 2016 по 2020 рр. проаналізовано загальну площу в межах кожного типу природного заповідника [19–21]. Результати наведені в табл. 2. В усіх заповідниках сільське господарство займає 3,79 % загальної площі заповідників у 2016 р. та 4,42 % — у 2020 р. (за п'ять років ця площа збільшилася на 24,1 тис. га). Найбільші площі під сільське господарство зосереджені в регіональних ландшафтних парках і становлять 14,6 % від загальної площі заповідників цього типу у 2016 р. та 16,3 % — у 2020 р. (тобто зростання сільського господарства на 1,7 %, або 11,3 тис. га). На рис. 7 наведено приклад регіонального ландшафтного парку «Боковенківський ім. М.Л. Давидова» (Україна, Кіровоградська область) із загальною площею посівних угідь 29,4 тис. га, або 72 % площі цього заказника.

У біосферних заповідниках та заказниках під сільське господарство відводиться понад 2 % площі, а в заповідниках, що найбільш охороняються, — менше 0,1 %.

Проведено порівняння карт ІКД та WC для класу сільськогосподарських територій на рівні природно-заповідного фонду (рис. 8). Для всіх видів природно-заповідного фонду площа сільськогосподарських угідь за картами WC перевищує площу за картами ІКД. Це може бути пов'язано з тим, що дані WC, отримані для всього світу на глобальному рівні, не враховують кліматичні та сільськогосподарські властивості території України, тоді як при створенні карт ІКД були зібрані наземні дані вздовж доріг. На рис. 9 (а — Google, б — маска посівів на основі карти зем-

ного покритву ІКД (2020 р.), *в* — маска посівів на основі карти земного покритву WC (2020 р.) наведено приклад карт посівів для заказника загальнодержавного значення «Михайлівська цілина» (Україна, Сумська область), з якого видно, що на карті WC є певний шум, якого немає на карті ІКД.



Рис. 7

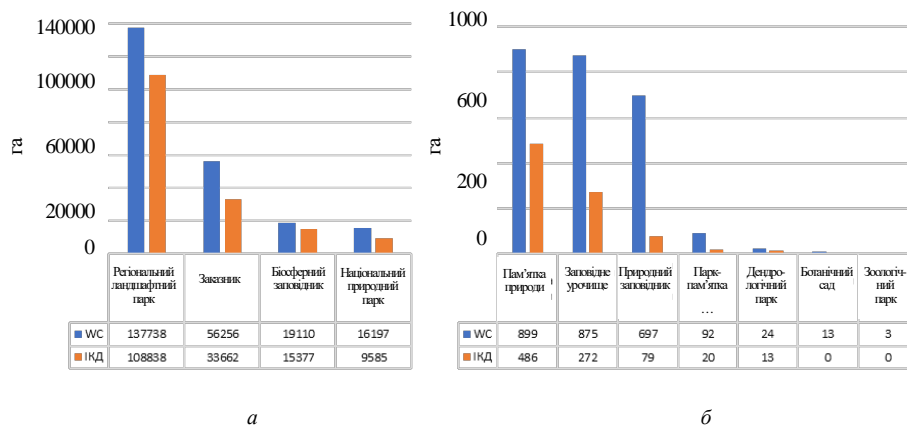


Рис. 8

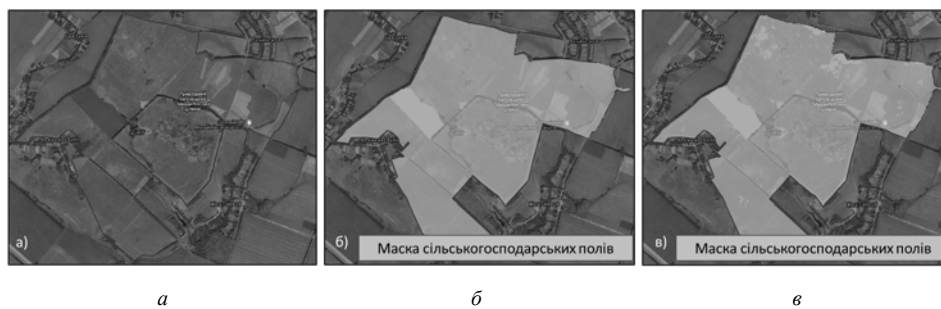


Рис. 9

Таблиця 2

Загалом	Ботанічний сад	Зоологічний парк	Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва	Природний заповідник	Заповідне урочище	Дендрологічний парк/природний парк	Національний парк/природний парк	Пам'ятка природи	Заказник	Біосферний заповідник	Регіональний ландшафтний парк	Тип природних заповідників	Площа сільськогосподарських полів (га) на основі карт класифікації ІКД
												2016	
144186,36	0	0,02	8,26	120,75	172,03	8,56	7398,61	287,6	26697,36	12017,78	97475,39	2016	
167387,82	0,64	0	27,31	178,43	372,37	17,59	9890,92	752,64	37719,44	16829,45	101599,03	2017	
182224,26	0,68	0,08	37,36	112,17	494,86	14,86	12077,28	724,17	37939,76	18690,07	112132,97	2018	
181128,86	0,02	0,03	27,43	150,82	386,01	14,25	10974	689,47	40033,49	15696,66	113156,68	2019	
168333,34	0,29	0	19,75	78,51	272,25	13,46	9585,12	486,23	33662,48	15377,39	108837,86	2020	
3,79	0,00	0,01	0,06	0,07	0,18	0,50	0,71	1,12	2,07	2,41	14,59	2016%	
4,42	0,03	0,00	0,15	0,04	0,29	0,79	0,93	1,90	2,61	3,09	16,29	2020%	
0,63	0,03	-0,01	0,09	-0,02	0,11	0,29	0,21	0,78	0,54	0,67	1,70	Різниця 16&20 %	
24146,98	0,29	-0,02	11,49	-42,24	100,22	4,9	2186,51	198,63	6965,12	3359,61	11362,47	Різниця 00&20 га	
3804,9	1	0,4	12,8	179,7	94,3	1,7	1035,1	25,6	1287,9	498,3	668,2	Загальна площа (тис. га)	

2.2. Аналіз змін лісу. На основі отриманих карт лісів за набором даних Хансена з просторовою роздільною здатністю 30 м розраховані відповідні лісові ділянки в кожному із заповідників за допомогою п'яти часових зрізів з п'ятирічним інтервалом (рис. 10, *а* — заповідник загальнодержавного значення «Поліський» (вирубка лісів з 2000 по 2020 рр.), *б* — заповідник загальнодержавного значення «Древлянський» (зростання площі лісів з 2000 по 2020 рр.)). У межах кожного типу заказника отримані площі підсумовувались та розраховувався відсоток площі лісів до загальної площі відповідних видів заказника.

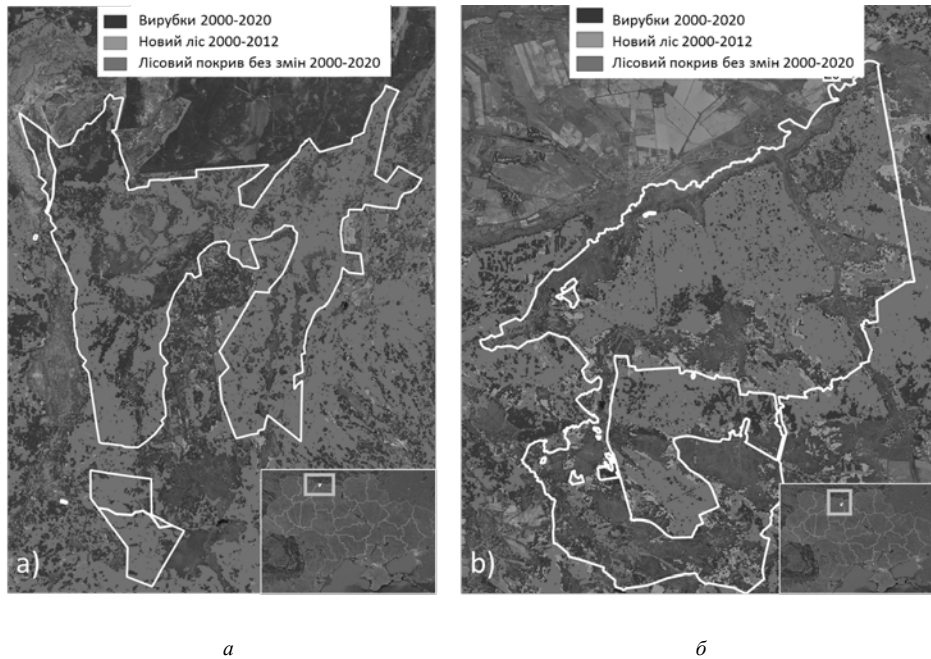


Рис. 10

У всіх типах заповідників спостерігається тенденція до зменшення площі лісу з 2000 по 2020 рр. (табл. 3). Загалом за 20 років площа лісу природно-заповідного фонду зменшилась на 1,89 % від його загальної площі (72 тис. га), зміни площі лісу не перевищують 3 % від загальної площі відповідного типу заповідника. Найбільший відсоток вирубки лісів спостерігається в заказниках (2,93 % від загальної площі заказників, або 5,3 тис. га), які найбільше охороняються (рис. 7), а також в регіональних ландшафтних парках (2,18 %, або 14,6 тис. га) та біосферних заповідниках (2,10 %, або 10,5 тис. га). У заповідниках з найбільшими лісовими площами лісів за 20 років зменшилась їх площа: у заказниках — на 1,9 % (24,5 тис. га) та у Національному природному парку — на 1,47 % (15,2 тис. га).

Найбільша площа лісу спостерігається в заповідному урочищі, парку-пам'ятці садово-паркового мистецтва та дендрологічному парку (більше 73 % лісів). Найбільші зміни відбулися в заповідному урочищі (на 1,81 %, 1,7 тис. га) та дендрологічних парках (на 1,02 %, 17 га). Площа лісів у парках-пам'ятках садово-паркового мистецтва та в ботанічних садах не змінилася (до 0,4 %, всього 50 га).

За отриманими діаграмами (рис. 11, зміни площ лісів у межах різних типів заповідників України протягом 20 років на основі набору даних Хансена [10]) щодо зміни лісового покриття кожні п'ять років можна зробити висновок, що в заказниках, біосферних заповідниках, крім вирубки, відбувається ще й лісовідновлення, про що свідчить збільшення площ у 2010 та 2015 рр.

Таблиця 3

Загалом	Зоологічний парк	Регіональний ландшафтний парк	Біосферний заповідник	Національний природний парк	Заказник	Природний заповідник	Пам'ятка природи	Ботанічний сад	Дендрологічний парк	Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва	Заповідне урочище	Тип природних заповідників										
												2000	2005	2010	2015	2020	Площа лісу на основі набору даних Хансена (Мерієнла) (га)	2000 %	2020 %	diff 00&20 %	diff 00&20 ha	Total area (th. ha)
1859332,1	43,44	231504,59	201593,46	536763,55	680910,5	99992,53	14360,98	577,95	1237,99	9660,95	82686,15											
1838678,3	42,99	227503,52	200969,16	531529,06	672619,64	98133,84	14299,54	577,11	1235,6	9644,31	82123,51											
1853342	42,01	227668,49	206911,15	532042,59	678142,83	100615,06	14293,73	577,09	1231,95	9646,81	82170,26											
1831470,8	40,39	222213,95	204809,22	526795,11	670121,88	100286,38	14202,38	576,16	1228,24	9637,69	81559,38											
1787307,4	38,42	216925,12	191114,8	521557,51	656452,4	94731,48	14099,9	575,63	1221,01	9613,41	80977,76											
48,87	11,00	34,64	40,45	51,86	52,87	55,65	56,13	57,58	74,01	75,63	87,72											
46,97	9,73	32,46	38,35	50,39	50,97	52,72	55,11	57,35	73,00	75,26	85,91											
1,89	1,27	2,18	2,10	1,47	1,90	2,93	1,02	0,23	1,02	0,37	1,81											
72025	5,02	14579	10479	15206	24458	5261,1	261,08	2,32	16,98	47,54	1708,4											
3804,9	0,4	668,2	498,3	1035,1	1287,9	179,7	25,6	1,0	1,7	12,8	94,3											

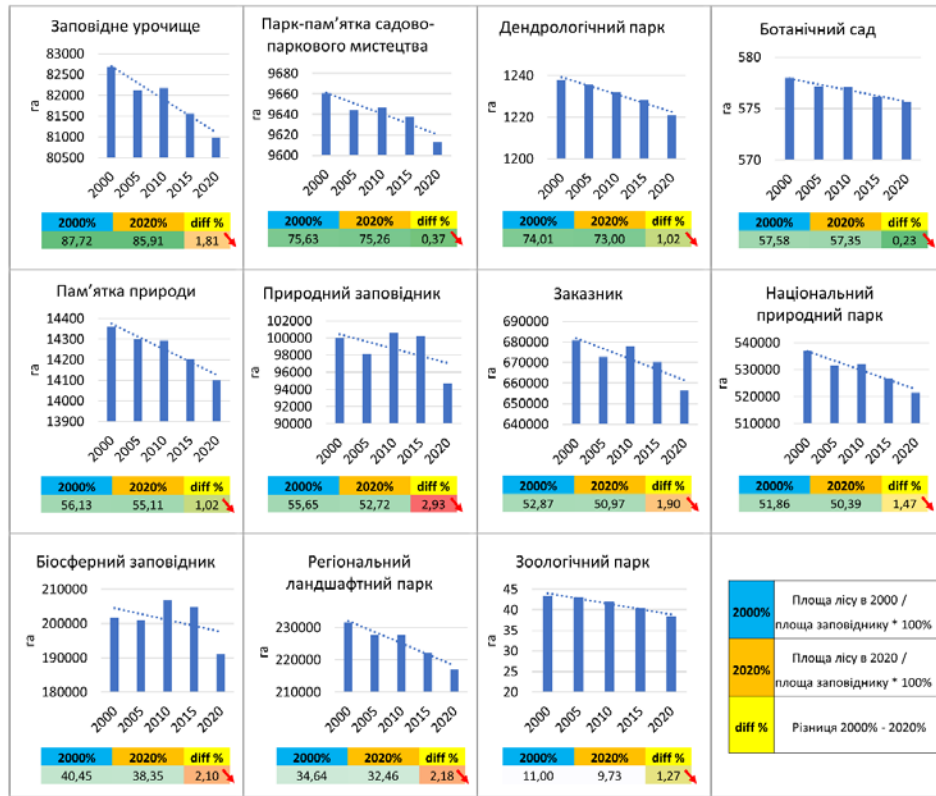


Рис. 11

Висновок

У рамках даного дослідження автори проаналізували зміни земного покриття в межах природно-заповідного фонду України. Проведено аналіз площ лісів, який показав, що найбільші зміни відбуваються в межах заказників (зменшення площ лісів на 1,9 % від площі заповідників цього типу (24,5 тис. га)) та природних заповідників (на 2,93 % від площі заказників цього типу (5,2 тис. га)). Також спостерігається і позитивна динаміка, згідно з дослідженнями в природному та біосферному заповідниках, окрім вирубки лісів, відбувається і відновлення лісів. Це пов'язано з тим, що вирубка лісів не завжди негативно впливає на ліс. Для лісів корисні і санітарні вирубки, що також слід враховувати [22].

У заповідниках активно ведеться сільське господарство, але із суворим дотриманням природоохоронних вимог. У 2016 р. сільське господарство займало у заповідниках 3,79 % від їх загальної площі та 4,42 % — у 2020 р. (за п'ять років ця площа збільшилася на 24,1 тис. га). На глобальному рівні всієї країни можна зробити висновок про дотримання правил користування заповідниками. Є незначні порушення, які потрібно усунути на місцевому рівні.

B. Yailymov, H. Yailymova, A. Shelestov, A. Lavreniuk

USE OF SATELLITE PRODUCTS FOR ANALYSIS OF CHANGES IN TERRITORIES OF NATURE RESERVE FUND OF UKRAINE

Bohdan Yailymov

Institute of Space Research of the National Academy of Sciences of Ukraine and SSA of Ukraine, Kyiv,
yailymov@gmail.com

Hanna Yailymova

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,
anna.yailymova@gmail.com

Andrii Shelestov

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,
andrii.shelestov@gmail.com

Alla Lavreniuk

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,
alla.lavrenyuk@gmail.com

This work is devoted to the study of temporary changes in land cover types within the nature reserve fund of Ukraine. First of all, this is an analysis of the forest cover change (deforestation or reforestation) according to the open data of Global Forest Change 2000–2020 with a spatial resolution of 30 meters, with the definition of the most problematic types of reserves where deforestation took place in 2000–2020. Another aspect of the research is the monitoring of the agriculture using within the nature reserve foundation, changes in the area of agricultural land over time and their comparison. This study is based on own land cover classification maps with a spatial resolution of 10 meters for the years 2016–2020, and are compared with the open data set World Cover Map for Ukraine in 2020. Sentinel–2 optical satellite data and Sentinel–1 radar data were used to create land cover classification maps for all Ukraine. The paper describes the technology for land cover classification maps creation for large areas based on satellite data. The main stages of preliminary processing of satellite data, the methodology of merging data of different and homogeneous nature for different time dates are considered. Using data sets of geospatial products, the dynamics of changes in the forest area and cropland for various types of nature reserve fund of Ukraine for 2000–2020 were studied. The largest share of forests is in protected tracts, parks-monuments of horticultural art and dendrological parks (more than 73 % forests), of which the largest changes occurred in protected tracts on 1.81 % of the area (1.7 thousand ha) and dendrological parks on 1.02 % of the area (17 ha). Research and results have shown that at the national level changes over time are not significant (up to 3 % for forests and up to 2 % for agricultural areas), but they are of great importance, since natural resources are limited, and the quality of life of mankind depends primarily on nature, ecology and environmental quality.

Ключові слова: data analysis, reserves, satellite data, classification maps, ecology.

1. Sun Z., Di L., Fang H. Using long short-term memory recurrent neural network in land cover classification on Landsat and Cropland data layer time series. *International Journal of Remote Sensing*. 2019. **40**, N 2. P. 593–614. DOI: 10.1080/01431161.2018.1516313
2. Gbiri I.A., Adeoye N.O. Analysis of pattern and extent of deforestation in Akure Forest Reserve, Ondo State, Nigeria. *Journal of Environmental Geography*. 2019. **12**, N 1–2. P. 1–11. <https://doi.org/10.2478/jengeo-2019-0001>
3. Ogilvie A., Belaud G., Massuel S., Mulligan M., Goulven P.L., Calvez R. Surface water monitoring in small water bodies: potential and limits of multi-sensor Landsat time series. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018. **22**, N 8. P. 4349–4380. DOI: 10.5194/hess-22-4349-2018.
4. Vina A., Bearer S., Chen X., He G., Linderman M., An L., Zhang H., Ouyang Z., Liu J. Temporal changes in giant panda habitat connectivity across boundaries of Wolong Nature Reserve, China. *Ecological Applications*. 2007. **17**, N 4. P. 1019–1030. DOI: 10.1890/05-1288
5. Zhang F., Kung H.T., Johnson V.C. Assessment of land-cover/land-use change and landscape patterns in the two national nature reserves of Ebinur Lake Watershed, Xinjiang, China. *Sustainability*. 2017. **9**, N 5. P. 724. DOI: 10.3390/su9050724.

6. Tsai Y.H., Stow D., Chen H.L., Lewison R., An L., Shi L. Mapping vegetation and land use types in Fanjingshan National Nature Reserve using google earth engine. *Remote Sensing*. 2018. **10**, N 6. P. 927. DOI: 10.3390/rs10060927.
7. Acheampong E.O., Macgregor C.J., Sloan S., Sayer J. Deforestation is driven by agricultural expansion in Ghana's forest reserves. *Scientific African*. 2019. **5**, e00146. DOI: 10.1016/j.sciaf.2019.e00146.
8. Wang X., Zhang F., Ding J., Latif A., Johnson V. C. Estimation of soil salt content (SSC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR), Northwest China, based on a Bootstrap-BP neural network model and optimal spectral indices. *Science of the Total Environment*. 2018. **615**. P. 918–930. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.025.
9. Zanaga D., van De Kerchove R., de Keersmaecker W., Souverijns N., Brockmann C., Quast R., Wevers J., Grosu A., Paccini A., Vergnaud S., Cartus O., Santoro M., Fritz S., Georgieva I., Lesiv M., Carter S., Herold M., Li Linlin, Tsendbazar N.E., Ramoino F., Arino O. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. 2021. DOI: 10.5281/zenodo.5571936.
10. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O. and Townshen J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*. 2013. **342**, N 6160. P. 850–53. DOI:10.1126/science.1244693
11. Kussul N., Shelestov A., Yailymova H., Yailymov B., Lavreniuk M., Ilyashenko M. Satellite agricultural monitoring in Ukraine at country level: world bank project. *2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2020*. 26 September 2020. P. 1050–1053. DOI: 10.1109/IGARSS39084.2020.9324573.
12. Kussul N., Shelestov A., Yailymov B., Yailymova H., Lavreniuk M., Shumilo L., Bilokonska Y. Crop monitoring technology based on time series of satellite imagery. *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT*. 2020. P. 346–350. DOI: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125031.
13. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. <https://land.gov.ua/>
14. Закон України «Про природно-заповідний фонд України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text>.
15. Product validation report (D12–PVR). URL: https://esa-worldcover.s3.amazonaws.com/v100/2020/docs/WorldCover_PVR_V1.1.pdf.
16. Cadastral map of Ukraine. URL: <https://map.land.gov.ua/>.
17. Kussul N., Lemoine G., Gallego J., Skakun S., Lavreniuk M. Parcel based classification for agricultural mapping and monitoring using multi-temporal satellite image sequences. *2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. *International*. 2015. P. 165–168. DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7325725.
18. Skakun S., Basarab R. Reconstruction of missing data in time-series of optical satellite images using self-organizing Kohonen maps. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2014. **46**, N 12. P. 19–26. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v46.i12.30
19. Kolotii A., Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Yailymov B., Basarab R., Lavreniuk M., Oliinyk T., Ostapenko V. Comparison of biophysical and satellite predictors for wheat yield forecasting in Ukraine. *ISPRS Archives*. 40(7W3). 2015. P. 39–44. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-39-2015>
20. Kussul N., Lavreniuk M., Shelestov A., Skakun S. Crop inventory at regional scale in Ukraine: Developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and SAR satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*. 2018. **51**, N 1. P. 627–636.
21. Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Butko I., Skakun S. Deep learning approach for large scale land cover mapping based on remote sensing data fusion. *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2016. P. 198–201.
22. Shumilo L., Lavreniuk M., Kussul N., Shevchuk B. Automatic deforestation detection based on the deep learning in Ukraine. *11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. Cracow (virtual format). 2021. P. 337–342. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9661008.

Отримано 13.09.2022