ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ДИСТАНЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ВІДКРИТИХ ДЖЕРЕЛ СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Для оцінювання втрат лісового покриву Українських Карпат на прикладі території Сколівських Бескидів використано дистанційні методи. Для території досліджень на основі аналізу цифрових моделей рельєфу виокремлено ділянки, де, відповідно до чинних інструкцій та нормативів, заборонені суцільні рубки головного користування. На таких ділянках були виявлено та проаналізовано зміни лісового покриву. Для аналізу довготермінових змін лісового покриву використано карту глобальних змін лісу (Global Forest Change – GFC). За даними аналізу такої інформації встановлено, що у 2010 р. частка природних лісів становила 19 % від загальної площі країни, або від 60,1 млн га. За період з 2001 по 2018 рр. в Україні втрачено 958 тис. га, що відповідає 8,6 % відносно площі лісового покриву за 2000 р. Для порівняння карт змін використано знімки із супутників Sentinel2 з роздільною здатністю 10 м·рік⁻¹ для аналізу втрат лісу за 2015-2018 рр. Розмежування вододілу проведено для досліджуваної території за допомогою інструменту SAGA "Басейни вододілу" з використанням цифрової моделі рельєфу ASTER GDEM. За допомогою інструменту QGIS розраховано стрімкість схилів на основі цифрової моделі рельєфу ASTER GDEM2. Окрім цього, обчислено середнє значення, мінімум та максимум стрімкості схилу для порівняння її із наведеними даними стрімкості в базах лісовпорядкування для кожного виділу. Для визначення площі для екорегіону Українські Карпати на території Сколівських Бескидів спочатку вирізано растрову карту змін за даними Глобальної лісової варті (Global Forest Watch – GFW) за контурами екорегіону, векторизовано растр за картою змін, а потім обчислено площі за кожною категорією змін. Розраховано площі втрат лісового покриву. Встановлено, що вища частка втрат лісового покриву припадає на 2014-2018 рр. Він істотно вищий за середній щорічна частка втрат. Також виявлено, що останніми роками втрати лісового покриву зумовлені рубками, значна частка, котрих припадає на висоту понад 1100 м н.р.м. Аналіз змін лісового покриву для території Сколівських Бескидів дав змогу порівняти такі зміни в лісах різної відомчої належності: Національного природного парку "Сколівські Бескиди", державного підприємства "Сколівське лісове господарство" та деяких лісництв, котрі належать до юрисдикції Сколівського військового лісгоспу ДП "Івано-Франківський військовий ліспромкомбінат". Порівняння даних втрати лісового покриву показав значні обсяги втрат на території військових лісництв, які були набагато вищими, ніж на інших територіях, що свідчить про їх антропогенне походження, тобто значні обсяги рубок.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі; ландшафтно-територіальна структура; цифрова модель рельєфу; цифрова модель висот.

Вступ. На сьогодні питання екології надзвичайно тісно пов'язані із антропогенними процесами та змінами, до яких вони призводять. Часто такі зміни доволі важко виявити, а наявні інструменти змін на великих територіях, особливо – важкодоступних, потребують комплексного підходу до визначення глобальних змін, початок яких можна відстежити за допомогою наявних безкоштовних інтернет-ресурсів або платного контенту. Отже, поєднання різних систем картографування для моніторингу лісового покриву у гірських екосистемах необхідне для перспектив аналізу розподілу території за принципами формування ландшафтно-територіальної структури (ЛТС) [2, 17, 19]. Засоби геопросторового аналізу цифрових моделей рельєфу (ЦМР) можна отримати як за допомогою гідрологічних характеристик те-

риторії, так і з урахуванням наявних антропогенних споруд та експозиційно-орографічних характеристик схилів (висота над рівнем моря (н.р.м.), стрімкість схилів понад певне значення і т.ін.). Основним принципом формування ЦМР є її формування на основі поєднання принципів перерозподілу поверхневого стоку у гірських умовах з певної комірки растру між комірками, які розташовані на меншій висоті, порівняно із вибраною [10]. Зважаючи на доступність даних, за якими можливе створення цифрової моделі висот (ЦМВ) для реалізації дослідження оперативного геопросторового аналізу доцільним є використання доступних у вільному доступі ресурсів таких, як базові варіанти або наявні модифікації SRTM та ASTER [6, 9, 11]. Також потрібно зауважити, що для кожного специфічного завдання є потреба

Інформація про авторів:

Часковський Олег Григорович, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра лісової таксації та лісовпорядкування.

Email: oleh.chaskov@gmail.com, oleh.chaskov@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-0361-0624>; Scopus

ID: 26323447500

Гриник Георгій Георгійович, д-р с.-г. наук, доцент, ст. наук. співробітник, кафедра лісової таксації та лісовпорядкування.

Email: h.hrynyk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7417-5047>; Scopus ID: 57190167130, ResearcherID: Q-8126-2017

Цитування за ДСТУ: Часковський О. Г., Гриник Г. Г. Оцінювання втрат лісового покриву Українських Карпат дистанційними методами за матеріалами відкритих джерел супутникової інформації. Науковий вісник НЛТУ України. 2020, т. 30, № 1. С. 66–73.

Citation APA: Chaskovskyy, O. H., & Hrynyk, H. H. (2020). Estimation of losses of forest cover of the Ukrainian Carpathians by remote methods based on the materials of open sources of satellite information. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(1), 66–73.

<https://doi.org/10.36930/40300111>

оцінювання показників з урахуванням особливостей території та мети картографування з точністю, достатньою для реалізації відповідних завдань дослідження [9, 11, 15, 16, 17].

Аналіз літературних джерел. Для дослідження загального стану та тенденцій динаміки лісового покриву часто використовують технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Інформація, отримана внаслідок використання ДЗЗ, використовується для вирішення багатьох завдань, пов'язаних із тематичним картографуванням лісових ділянок, розрахунком вибраних таксаційних показників деревостанів, верифікації даних наземного моніторингу та багато іншого. Можливість технологій ДЗЗ створювати багатосарові картографічні матеріали дає змогу стратифікувати вкриті та непокриті лісовою рослинністю ділянки, що створює так звану "лісову маску". Основою для використання технологій ДЗЗ є використання специфічних мультиспектральних супутникових знімків, які поєднуються із атрибутивною інформацією щодо геопросторових даних про лісові ділянки. Найчастіше за основу використовують знімки MODIS, Landsat тощо [5, 20, 23, 24].

Щодо Глобальної карти змін лісового покриву (Global Forest Change – GFC) [14], опублікованої у 2013 р. дослідниками університету штату Меріленд (США), то її формування розвинулося на технології подання серій знімків земного покриву у вигляді неперервних карт Vegetation Continuous Fields (VCF).

Використання даних GFC дає змогу здійснити піксельну оцінку лісового покриву у відсотках від 0 до 100 %, починаючи з 90-х років XX ст. Лісовий покрив для ростучих деревостанів оцінюють за ступенем зімкнутості їхнього намету. Зважаючи на системність у формуванні бази даних та порівняної простоти у використанні даних ДЗЗ останнім часом їх доволі широко почали застосовувати для аналізу та класифікації лісового покриву [18]. Доступні у відкритому доступі архівні знімки Landsat, зокрема їхні часові серії супутникових даних, на сьогодні широко застосовують для класифікації лісових деревостанів за видовим складом [27], визначення та оцінювання наземної біомаси насаджень [1, 20, 26, 28], дослідження та встановлення таксаційних показників деревостанів [3], а також дослідження стану лісових екосистем [7, 13]. Власне вирішення питань дослідження динаміки стану лісових екосистем на глобальному рівні і спричинило розробку сучасних методик моніторингу на основі даних серій знімків Landsat [12]. Розроблені методики дають змогу використовувати як річні серії знімків (для оцінювання стійкого снігового покриву, його тривалості; для здійснення фенологічних спостережень з використанням спектральної інформації знімків; для диференціації лісових земель чи угідь), так і багаторічні (для можливості встановлення змін у більш широкому діапазоні часу).

Об'єктом дослідження є втрати лісового покриву на території Українських Карпат.

Предмет дослідження – дистанційні методи оцінки втрат лісового покриву Українських Карпат. Для території дослідження на основі ЦМР виокремили ділянки, де, відповідно до чинних інструкцій та нормативів, заборонені суцільні рубки головного користування. На таких ділянках виявили та проаналізували зміни лісового покриву. У дослідженні окремо не вивчали щорічні площі лісовідновлення та не встановлювали частку

площі лісових ділянок, на яких здійснено переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю площі, а слугували таким відносним показником, як динаміка втрат лісового покриву за кожен рік зокрема.

Метою дослідження є моніторинг втрат лісу на прикладі території Українських Карпат за результатами відкритих джерел супутникової інформації. Усе цифрове виявлення змін залежить від вхідних даних і методів, використаних для аналізу. Це істотно впливає на якісні та кількісні результати аналізу, навіть якщо він стосується однакових часових рамок та регіону [4]. Тому для порівняння різних результатів, а також для надання результатів потрібно використовувати різні методи та різні дані, що є основою для моніторингу втрат лісу у карпатському регіоні. Оперативно виявлені втрати лісового покриву також можна використати в охороні лісів, особливо у важкодоступних місцях, в яких здійснювати наземний моніторинг, патрулювання та охорону є доволі проблематично.

Для досягнення зазначеної мети потрібно було виконати такі **основні завдання дослідження**:

- 1) виявити та оцінити зміну лісового покриву екорегіону Українських Карпат впродовж 2000-2018 рр. використовуючи дані з відкритого доступу;
- 2) встановити наявність різниці у втратах лісового покриву на лісових ділянках різного відомчого підпорядкування;
- 3) порівняти дані з відкритого доступу (дані GFW) та супутникові знімки Sentinel-2 та встановити й верифікувати отримані дані втрат лісового покриву різними способами;
- 4) за результатами аналізу відкритих джерел інформації рекомендувати відповідні серії знімків для можливості реагувати на зміни лісового покриву у реальному часі.

Методика та матеріали дослідження. Для аналізу довготермінових змін лісового покриву використано карту глобальних змін лісу [14]. Також потрібно врахувати, що дані вже класифіковані і тому готові до використання (рис. 1).

Цей ресурс містить карти втрат лісового покриву, а також карти лісовідновлення за роками від 2001 по 2018 рр. На сайті можна обрати територію для представлення карти, а також роки, впродовж яких відбулися ці втрати чи відновлення лісового покриву. Також на основі карт здійснюють аналіз лісового покриву на певних ділянках місцевості. Проведено відповідний аналіз для території України (рис. 2).

За даними аналізу для 2010 р. частка природних лісів становила 19 % від загальної площі країни, або 60,1 млн га. За період з 2001 по 2018 рр. в Україні втрачено 958 тис. га, що відповідає 8,6 % відносно площі лісового покриву за 2000 р. [14]. Також є можливість завантажувати з цього сайту статистичні дані за кожною країною про втрати лісового покриву як частки від загальної площі (%), втрати біомаси, а також депонування вуглецю [20]. Такі дані містяться в xls-форматі файлів, котрі також вільно завантажуються із сайту. Отже, для дослідження використано карти втрат лісового покриву за роками за весь період спостережень (із 2001 по 2018 рр.). Окрім цього, для можливості порівняння підібрано карти із зімкнутістю крон дерев понад 30 %.

Дані є результатом часових рядів зображень Landsat, зібраних у 2000-2018 рр. Роздільна здатність становить 1 arc.s⁻¹ або приблизно 30 м на екваторі. Набір даних розділений на квадрати розміром 10×10 градусів, що складаються з семи файлів на квадрат. Використано та-

кі файли: Hansen_GFC-2018-v1.6_lossyear_50N_020E – для визначення обсягів змін лісового покриву та Han-

sen_GFC-2018-v1.6_treecover_50N_020E – для визна-чення площі лісового покриву.

Рис. 1. Загальний вигляд карт "Глобальної лісової варті" (<https://www.globalforestwatch.org/map>)

Рис. 2. Аналіз лісового фонду за картами "Глобальної лісової варті" за 2010 р. (<https://www.globalforestwatch.org/map/country/UKR?mainMap>)

Територією досліджень є екорегіон Українські Карпати у межах чотирьох адміністративних областей: Львівської, Закарпатської, Івано-Франківської та Чернівецької (рис. 3).

Рис. 3. Територія дослідження

Супутникові знімки – (фото) зйомка Землі чи інших планет з допомогою супутників. Супутникові зоб-

раження знаходять застосування в багатьох галузях діяльності – сільське господарство, геологічних і гідрологічних дослідженнях, лісівництві, охороні навколишнього середовища, плануванні територій, освітніх, наукових, розвідувальних і військових цілях. Такі зображення можуть бути виконані як у видимій частині спектру, так і в ультрафіолетовій, інфрачервоній і інших частинах діапазону. Також існують різні карти рельєфу, виконані за допомогою радарної зйомки.

Дешифрування і аналіз супутникових знімків у даний час все більше виконують за допомогою автоматизованих програмних комплексів, таких як ERDAS Imagine або ENVI. На початку розвитку цієї галузі деякі з видів поліпшень зображень на замовлення уряду США виконувалися фірмами-підрядниками. Наприклад, фірма ESL Incorporated розробила один з перших варіантів двовимірного перетворення Фур'є для цифрового оброблення зображень.

Для порівняння карт змін знімки із супутників Sentinel2 з роздільною здатністю 10 м·пікс⁻¹ використовували для аналізу втрат лісу за 2015-2018 рр. Це продукт Європейського космічного агентства (ESA). Діапазони

4 (RED) та 8 (NIR) використовували з двох різних дат, 30.08.2015 та 30.08.2017.

Цифрова модель рельєфу DEM (англ. *Digital Elevation Model*) – у геоінформатиці – цифрове подання рельєфу земної поверхні, створене на підставі даних про рельєф та топології місцевості. Часто використовують як синонім цифрової моделі рельєфу, хоч є більш універсальним терміном. В нашому випадку *розмежування вододілу* проведено для досліджуваної території за допомогою інструменту SAGA "Басейни вододілу" з використанням цифрової моделі рельєфу ASTER GDEM [21, 22, 25].

Для здійснення геопросторового аналізу на підготованих картографічних матеріалів використали відкриті настільні ГІС SAGA [22] та QGIS [21]. Як вихідні матеріали дослідження використали фрагменти ЦМБ GDEM2 та ASTER. Потрібно зазначити, що для ASTER за заявленої втричі більшої за GDEM2 роздільної здатності (P3) характерним є менша вертикальна та горизонтальна точність. Причиною цього є те, що збільшення P3 призвело до збільшення чутливості під час фіксації георосторових даних. Разом з тим, за практичною реалізацією картування території якості GDEM2 є досить високою і часто дає змогу використовувати значення масштабу 1:10000 і навіть вище. Незважаючи на вищу P3 точність ASTER є нижчою, а якості реалізації – гірша, у тому числі і масштабу [16, 17]. Отже, зважаючи на усі позитивні і негативні позиції розглянутих ГІС під час здійснення дослідження аналіз даних здійснено в обох варіантах.

Карта стрімкості схилів. За допомогою інструменту QGIS розраховано стрімкість схилів на основі цифрової моделі рельєфу ASTER GDEM2. Окрім цього, обчислено середнє значення, мінімум та максимум стрімкості схилу для порівняння її із наведеними даними стрімкості в базах лісовпорядкування для кожного виділу.

Оскільки на схилах понад 20° всі суцільні рубки головного користування, окрім санітарних рубок, є недозволені, то для того, щоб виявити здійснені рубки за допомогою карти змін рубки, потрібно порівняти виявлені зміни у лісовому покриві із даними проведених заходів за кожним виділом. Для цього на основі цифрової моделі рельєфу створено цифрові карти схилів стрімкістю понад 20° (рис. 4).

Рис. 4. Карта стрімкості схилів, генерована на основі цифрової моделі рельєфу

Такі карти наклали на карти змін, а потім виявлені рубки верифіковували з проведеними заходами у базі

даних державних підприємств. Також оцінено обсяги рубок за картою втрат вище 1100 м н.р.м. (рис. 5). На території таких ділянок також заборонено здійснювати суцільні рубки головного користування. Єдиним видом суцільних рубок, які можна здійснювати у таких виділах, є тільки суцільні санітарні рубки.

Рис. 5. Ділянки Українських Карпат із висотою вище 1100 м н.р.м.

Результати дослідження та їхнє обговорення. Дані глобальної зміни лісу (Global Forest Watch – GFW) є онлайн-системою для моніторингу лісів, що забезпечує людям в усьому світі інформацію про ліси, що сприяє кращому управлінню лісами та їх збереженню. Веб-сайт GFW містить новини про проблеми і досягнення в галузі охорони лісів, а також статистичні дані, які кожен користувач може використовувати у своїх додатках. Користувачі можуть переглядати детальну інформацію про ліси їхньої країни або порівнювати ліси різних країн за допомогою інструменту "Профілі країн і рейтинги".

Ймовірно, найважливішим інструментом GFW є інтерактивна карта, зроблена з використанням космічних знімків. Вона дає змогу користувачам бачити лісовий покрив, його зміни в часі, землекористування та захист лісів у всьому світі. Користувачі можуть також збільшувати зображення, щоб отримати детальнішу інформацію про певні території. Таку карту використано для аналізу втрати лісового покриву екорегіону Карпат на території України. Суміщені карти змін послужили основою розрахунку величини площ втрати лісового покриву за роками (рис. 6).

Рис. 6. Фрагмент карти екорегіону Карпати із нанесеними змінами лісового покриву за матеріалами глобальної лісової варті (GFW)

Для визначення площі для екорегіону Українські Карпати спочатку вирізано растрову карту змін за GFW за контурами екорегіону, векторизовано растр за картою змін, а потім обчислені площі за кожною категорією змін. Розраховані площі втрат лісового покриву подано на рис. 7.

Рис. 7. Площа порушень лісового покриву за матеріалами Глобальної лісової варті

Відповідно до площі вкритих лісовою рослинністю лісів таку динаміку наведено в табл. 1. Лісистість екорегіону обчислена за даними GFW від 2000 р. Оскільки така карта містить вкриті лісовою рослинністю площі різної зімкнутості: від 1 до 100 %, то за визначенням ФАО, взяті ділянки, зімкнутістю понад 10 % [8]. Загальна лісистість, обчислена для території екорегіону Українських Карпат, становить 74,0 %.

Табл. 1. Втрати лісового покриву екорегіону Українських Карпат впродовж 2001-2018 рр.

Рік	Площа змін, га	Частка змін до вкритих лісовою рослинністю земель, %
2001	5763,0	0,40
2002	2479,8	0,17
2003	4678,2	0,32
2004	5417,2	0,37
2005	4328,6	0,30
2006	4967,5	0,34
2007	21811,9	1,51
2008	8546,8	0,59
2009	6716,7	0,46
2010	7236,7	0,50
2011	9516,7	0,66
2012	9802,5	0,68
2013	4590,3	0,32
2014	7157,2	0,49
2015	6146,6	0,43
2016	10831,6	0,75
2017	8327,2	0,58
2018	6822,7	0,47

Втрати лісового покриву оцінено на предмет поширення в місцях, в яких заборонені суцільні рубки головного користування. Дозволені тільки суцільні санітарні рубки. Тобто в місцях вище 1100 м.н.м. та на схилах із стрімкістю вище 20°. Результати втрат наведено за 2001-2018 рр. у відсотках до загальних пошкоджень за весь період (табл. 2). З цієї таблиці видно, що частка втрат лісового покриву за останні роки для місць вище 1100 м.н.м. є вищим за загальний, а також за частка втрат на схилах стрімкіших за 20°. Частка втрат на схилах, стрімкіших за 20° практично збігається з загальною часткою втрат.

Для порівняння динаміки втрат лісового покриву їх зображено на графіку (рис. 8). Графік показує, що вища частка втрат лісового покриву припадає на 2014-2018 рр. Причому він істотно вищий за середній щоріч-

на частка втрат. Тут спостерігається інша ситуація, котра притаманна для 2007 р., коли частка був значним, але практично дорівнював середньорічному відсотку втрат. Це підтверджує гіпотезу, що останніми роками втрати лісового покриву зумовлені рубками, значна частка, котрих припадає на висоту понад 1100 м н.р.м.

Табл. 2. Частка втрат лісового покриву екорегіону Українські Карпати в місцях, де заборонені суцільні рубки

Роки	Частка від загального обсягу порушень, %		
	загальна	1100 м н.р.м.	20°
2001	4,26	1,84	3,46
2002	1,83	0,42	1,72
2003	3,46	2,47	3,02
2004	4,01	1,99	3,87
2005	3,20	1,37	3,03
2006	3,68	2,29	3,74
2007	16,14	17,01	15,68
2008	6,32	4,16	5,94
2009	4,97	4,27	5,13
2010	5,35	4,78	5,57
2011	7,04	5,68	6,53
2012	7,25	8,21	7,26
2013	3,40	3,73	3,69
2014	5,30	6,80	5,74
2015	4,55	7,00	5,26
2016	8,02	11,70	8,64
2017	6,16	9,28	6,50
2018	5,05	7,00	5,21

Рис. 8. Частка втрат лісового покриву на ділянках екорегіону Українських Карпат, стрімкіших за 20°, та вищих за 1100 м н.р.м.

Окрім цього, використано шар втрат лісового покриву для їхнього оцінювання залежно від статусу території (категорії земель), тобто чи ці ділянки належать до господарської зони, зони регульованої рекреації чи до захисної зони об'єктів природо-заповідного фонду. У цьому випадку також необхідно звертати увагу на систему господарських заходів, яку дозволено чи обмежено для використання на відповідній категорії лісів чи категорії захисності. Для прикладу, використано регіон Сколівські Бескиди, де розташований Національний природний парк "Сколівські Бескиди", ДП "Сколівське лісове господарство" та Сколівський військовий лісгосп ДП "Івано-Франківський військовий ліспромкомбінат" підпорядкування МО України.

За даними Глобальної лісової варті, загальні втрати лісового покриву у відсотках від загальної площі за різними категоріями користувачів розподілилися так:

- Сколівський військовий лісгосп ДП "Івано-Франківський військовий ліспромкомбінат" – 22,45 %;
- ДП "Сколівське лісове господарство" – 15,64 %;
- НПП "Сколівські Бескиди" – 3,16 %.

Динаміку втрат лісового покриву для підприємств різного підпорядкування за роками за період 2000-2018 рр. подано на рис. 9.

Рис. 9. Динаміка втрат лісового покриву для підприємств різного підпорядкування за роками

З графіка видно, що найнижчі значення втрат за роками припадають на Національний природний парк, де суцільні рубки практично обмежені. Тут немає значного збільшення втрат лісового покриву і для 2007 р. На протигагу такій динаміці, втрати для військового лісництва є значними із піками для деяких років, що не може бути природною динамікою, а зумовлено господарськими чинниками.

Як показано на рис. 10, карта втрат лісового покриву GFW за 2015-2017 рр. істотно відрізняється від розрахункових показників нормалізованого індексу різниці вегетації (Normalized Difference Vegetation Index – NDWI) за 2015-2017 рр. Як видно на рис. 10, є розбіжності між картою змін GFW та даними супутникових знімків Sentinel-2. Якщо втрата є круговою, а лісова латка у середині, дані Гансена показують лише один великий контур [13, 14]. Це дуже проблематично, особливо якщо дані використовуються у дрібномасштабному аналізі для виявлення вибіркового рубок. Також він не відображає мережу доріг, як це робиться за аналізом супутникових знімків Sentinel-2.

Рис. 10. Порівняння втрат лісового покриву за картами GFW та супутниковими знімками Sentinel-2: а) лісосіка на території Сколівського військового лісгоспу ДП "Івано-Франківський військовий ліспромкомбінат"; б) лісосіка та волоки на території Сколівського військового лісгоспу ДП "Івано-Франківський військовий ліспромкомбінат"; в, г) волоки на території ДП "Сколівське лісове господарство"

Як описано у попередньому пункті, втрата, яка відображається на карті втрат Гансена [14], завжди може бути спричинена стихійними лихами або масштабними антропогенним впливами. У зв'язку з вищою роздільною здатністю зображень Sentinel-2 за їх допомогою можна легко виявити лісозаготівельні дороги, які, безумовно, є показником впливу людини, а також вибіркові рубки, які були проаналізовані у попередньому дослідженні. На рис. 11 показано різницю між картою втрат GFW та розрахунковими значеннями втрат лісу для 2015-2018 рр. для виявлення похибки алгоритму, використаного для класифікації лісових втрат [12, 14]. Навіть без обчислення порогу рослинного індексу результати очевидні.

Дані про втрату лісів за Гансеном можуть бути використані як основа для моніторингу втрат лісу в лісових господарствах, хоча вона повинна використовуватися

дуже обережно, оскільки роздільна здатність пікселів даних становить близько 30 м на екваторі, і тому точність дуже низька, оскільки лісові заходи різного розміру і форми є іноді дуже малі за площею [12, 14].

Аналіз глобальних даних супутникових зйомок дав змогу описати динаміку зміни площі лісових масивів у світі. У підсумковій сумі деградації і приросту перша переважає: площа лісових масивів неухильно зменшується, за десять років вона скоротилася на 1,4 млн км². Найбільша втрата лісових площ за відношенням до приросту зафіксована для тропічної зони, найменша – для помірної. Статистика на прикладі Бразилії показує ефективність урядових заходів, які приймаються для збереження тропічних лісів. Важливо також в умовах розширення міжнародних зв'язків контролювати інтродукцію паразитарних видів, так як на нових територіях вони можуть викликати епідемію серед лісових дерев.

Рис. 11. Різниця між контурами втрат лісового покриття за різними джерелами

Висновки. За допомогою карти лісових втрат [14] зміни лісового покриття 2000–2018 рр. можуть бути легко виявлені, а отже, можна вказати, в якому виділі пройшли рубки чи природні зміни. Різниця між такими втратами лісового покриття за останні роки дуже очевидна (див. рис. 5). Особливо зручно, що дані GFW готові до використання і вже класифіковані, але оскільки параметри класифікації не є очевидними, їх можна використовувати тільки для виявлення напрямків змін.

Загальнодоступні дані Глобальної лісової варті зручні для використання, оскільки представлені готовими растровими наборами даних, придатними для суміщення із іншою просторовою інформацією. Такі дані показують втрати лісового покриття окремо за роками, починаючи від 2001 р. Дані втрат лісового покриття базуються на супутникових знімках Landsat. Просторова роздільна здатність цих зображень становить близько 30 м. Така просторова роздільна здатність дає змогу ідентифікувати зміни лісового покриття від 0,09 га.

Аналіз змін лісового покриття для території Сколівських Бескид дав змогу порівняти такі зміни в лісах різної відомчої приналежності: Національного природного парку "Сколівські Бескиди", державного підприємства "Сколівське лісове господарство" та деяких лісництв, котрі належать до юрисдикції Сколівського військового лісгоспу ДП "Івано-Франківський військовий ліспромкомбінат".

Порівняння даних втрати лісового покриття показує значні обсяги втрат на території військових лісництв, які були набагато вищими, ніж на інших територіях, що свідчить про їхнє антропогенне походження, тобто значні обсяги рубок.

Порівняння відкритих даних із сучасними супутниковими знімками системи Sentinel-2, котрі мають набагато більшу просторову (10 м) і часову (до 5-ти днів) роздільну здатність, свідчать про доцільність використання останніх для можливості реагувати на відповідні зміни у реальному часі. Такі характеристики дають змогу ідентифікувати лісові дороги та диференціювати природні та антропогенні впливи на лісове середовище.

References

- Boisvenue, C., Smiley, B. P., White, J. C., Kurz, W. A., & Wulder, M. A. (2016). Integration of Landsat time series and field plots for forest productivity estimates in decision support models. *Forest Ecology and Management*, 376, 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.022>
- Chaskovskyi, O. H., Karabchuk, D. Yu., & Ivaniuk, A. P. (2019). Forest disturbance in the Ukrainian Carpathians from 1984 to 2016. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(2), 9–14. <https://doi.org/10.15421/40290201>
- Chrysafis, I., Mallinis, G., Gitas, I., & Tsakiri-Strati, M. (2017). Estimating Mediterranean forest parameters using multi seasonal Landsat 8 OLI imagery and an ensemble learning method. *Remote Sensing of Environment*, 199, 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.018>
- Coppin, P. R., & Bauer, M. E. (1996). Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote Sensing Reviews*, 13 (3–4), S. 207–234. <https://doi.org/10.1080/02757259609532305>
- Coulston, J. W., Moisen, G. G., Wilson, B. T., Finco, M. V., Cohen, W. B., & Brewer, C. K. (2012). Modeling percent tree canopy cover: a pilot study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(7), 715–727.
- Dragut, L., & Eisank, C. (2012). Automated object-based classification of topography from SRTM data. *Geomorphology*, 141–142, 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.001>
- Eisavi, V., Homayouni, S., Yazdi, A. M., & Alimohammadi, A. (2015). Land cover mapping based on random forest classification of multitemporal spectral and thermal images. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5), 34–39. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4489-3>
- Global Forest Resources Assessment 2020. (2018). FRA 2020 Terms and Definitions Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 29 p.
- Gopinath, G., Swetha, T. V., & Ashitha, M. K. (2013). Automated extraction of watershed boundary and drainage network from SRTM and comparison with Survey of India toposheet. *Arabian Journal of Geosciences*, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0919-0>
- Gruber, S., & Peckham, S. (2009). Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, 33, 171–194. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00007-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00007-X)
- Guth, P. L. (2006). Geomorphometry from SRTM: somparison to NED. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), 269–277.

12. Hansen, M. C., & Loveland, T. R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>
13. Hansen, M. C., Egorov, A., Potapov, P. V., Stehman, S. V., Tyukavina, A., Turubanova, S. A., ... Bents, T. (2014). Monitoring conterminous United States (CONUS) land cover change with Web-Enabled Landsat Data (WELD). *Remote Sensing of Environment*, 140, 466–484. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.014>
14. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hanche, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A. et al. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, Vol. 342, Issue 6160, 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
15. Hengl, T., & Reuter, H. I. (2011). How accurate and usable is GDEM? A statistical assessment of GDEM using LiDAR data. *Geomorphometry*, Redlands, CA, pp. 45–48. Retrieved from: <http://geomorphometry.org/system/files/HenglReuter2011geomorphometry.pdf>
16. Jarvis, A., Rubiano, J., Nelson, A., Farrow, A., Mulligan, M., & Jarvis, A. (2004). Practical use of SRTM data in the tropics. *Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data*, 198, 32 p.
17. Karwel, A. K., & Ewiak, I. (2008). Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B7, 169–172.
18. McRoberts, R. E., Vibrans, A. C., Sannier, C., Næsset, E., Hansen, M. C., Walters, B. F., & Lingner, D. V. (2016). Methods for evaluating the utilities of local and global maps for increasing the precision of estimates of subtropical forest area. *Canadian Journal of Forest Research*, 46, 924–932. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0064>
19. Myroniuk, V. V. (2018). Forest Cover Mapping Using Landsat-Based Seasonal Compositing Mosaics. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(1), 28–33. <https://doi.org/10.15421/40280105>
20. Myroniuk, V. V., & Bilous, A. M. (2017). Consistency of forest area estimates according to global forest change data and multispectral satellite image. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(5), 38–42. <https://doi.org/10.15421/40270507>
21. QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System. Version 2.18.27: Open Source Geospatial Foundation. Retrieved from: <https://qgis.org/en/site/about/index.html>,
22. SAGA GIS Development Team. (2014). SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses / SAGA User Group Association. Retrieved from: <http://saga-gis.org>
23. Sexton, J. O., Song, X., & Feng, M. (2013). Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS vegetation continuous fields with lidar-based estimates of error. *Digital Earth*, 6(5), 427–448. <https://doi.org/10.1080/17538947.2013.786146>
24. Shimada, M., Itoh, T., Motooka, T., Watanabe, M., Shiraishi, T., Thapa, R., & Lucas, R. (2014). New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007–2010). *Remote Sensing of Environment*, 155, 13–31. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.014>
25. Vaze, Jai, Teng, Jin; Spencer, Georgina (2010): Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. In: *Environmental Modelling & Software* 25(10), 1086–1098. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.014>
26. Zald, H. S. J., Wulder, M. A., White, J. C., Hilker, T., Hermosilla, T., Hobart, G. W., & Coops, N. C. (2016). Integrating Landsat pixel composites and change metrics with lidar plots to predictively map forest structure and aboveground biomass in Saskatchewan, Canada. *Remote Sensing of Environment*, 176, 188–201. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.015>
27. Zhu, X. L., & Liu, D. S. (2014). Accurate mapping of forest types using dense seasonal Landsat time-series. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 96, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.06.012>
28. Zhu, X. L., & Liu, D. S. (2015). Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.08.014>

O. H. Chaskovskyy, H. H. Hrynyk

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

ESTIMATION OF LOSSES OF FOREST COVER OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS BY REMOTE METHODS BASED ON THE MATERIALS OF OPEN SOURCES OF SATELLITE INFORMATION

Means of geospatial analysis of digital terrain models (DEM) can be obtained both by hydrological characteristics of the territory and taking into account the existing anthropogenic structures and exposure-orographic characteristics of the slopes. The object of the study was the loss of Ukrainian Carpathian forest cover. The subject of the study is remote methods of estimation of losses of forest cover of the Ukrainian Carpathians. On the basis of the DEMs, we allocated areas where continuous cutting of the main use is prohibited for the territory of the research in accordance with the current instructions and standards. Changes in forest cover were identified and analyzed at such sites. In course of the research a Global Forest Change Map was used to analyze long-term changes in forest cover. This resource contains forest cover maps and reforestation maps during the period from 2001 to 2018. Watershed demarcation was performed for the study area using the SAGA Watersheds tool using the ASTER GDEM digital terrain model. Concerning the map of slope, The slope of the slopes was calculated using the QGIS tool based on the ASTER GDEM2 digital terrain model. In addition, the mean, minimum, and maximum of the steepness of the slope were calculated to compare it with the reported slope data in the forest bases for each section. Therefore, we have come to the following conclusions. Firstly, publicly available global forest watch data is easy to use because it is represented by ready-made bitmap datasets that can be combined with other spatial information. This data shows the loss of forest cover over the years since 2001. Forest cover loss data is based on satellite images of Landsat. The spatial resolution of these images is approximately 30 m. This spatial resolution allows the identification of changes in forest cover of 0.09 ha. Secondly, the analysis of changes in forest cover for the Skole Beskydy territory enabled comparing the following changes in forests of different departmental affiliations: Skole Beskydy National Nature Park, Skole Forestry State Enterprise and individual forests within the jurisdiction of Skole Military Forestry of Ivano-Frankivsk State Complex Forestry Enterprise. Moreover, comparison of the loss of forest cover showed significant losses in the territory of the military forestry, which were much higher than in other territories indicating their anthropogenic origin, i. e., significant logging. Thus, comparison of open data with modern satellite images of the Sentinel-2 system, which have much larger spatial (10 m) and temporal (up to 5 days) resolution, indicate the feasibility of using the latter to be able to respond to the corresponding changes in real time. Such characteristics allow identification of forest roads and differentiation of natural and anthropogenic impacts on the forest environment.

Keywords: earth remote sensing; landscape-territorial structure; digital terrain model; digital elevation model.