



I. М. Кульбанська

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

МОНІТОРИНГ ЗМІН ПЛОЩ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ ПОКУТСЬКО-БУКОВИНСЬКИХ КАРПАТ ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Встановлено, що моніторинг змін лісового покриття Покутсько-Буковинських Карпат шляхом використання ГІС-інструментарію (зокрема інтернет-ресурсів GoogleEarth та Global Forest Watch) дає змогу проводити оцінювання ступеня збереженості природних ресурсів, визначати рівень деградації, а також вплив на біорізноманіття. З'ясовано, що станом на 2010 р. 65,0 % території Покутсько-Буковинських Карпат вкрито деревами >30,0 %. У період з 2001 по 2022 р. територія Покутсько-Буковинських Карпат втратила 19,3 тис. га лісового покриття, що еквівалентно зменшенню лісового покриття на 12,0 % з 2000 року. Досліджено, що причинами, які спровокували зміни (зокрема зменшення) площ лісового покриття дослідного регіону є комплексний довготривалий вплив взаємопов'язаних чинників навколишнього середовища – абіотичних, біотичних і антропогенних. Зазначено, що біотичні чинники потрібно вважати вторинними чинниками впливу, оскільки, підсилюючи роль попередніх, вони призводять до незворотних змін у лісових екосистемах. Виокремлено основні чинники біотичного походження, які сприяють зміні (втраті) лісового покриття Покутсько-Буковинських Карпат. Це, передусім, дереворуйнівні гриби, а також збудники ракових і некрозних хвороб, зокрема *Melampsorella cerastii* та *Neonectria ditissima*. Найбільш небезпечним у плані сприяння втрат лісового покриття внаслідок стрімкого поширення бактеріальної водянки (*Lelliottia nimipressuralis*), яка наразі спричиняє відмирання дерев ялини європейської та ялиці білої, особливо старших вікових груп. Помічено, під час проведення моніторингу змін площ лісового покриття, що рокам масового висихання лісів (2002-2003, 2011-2012 рр.) передували роки, які характеризувалися різким гідротермічним стресом (зниження показника вологозабезпеченості – 2001, 2009, 2022 рр.). Тобто існує певний інтервал (орієнтовно 10-річний період) інтенсифікації процесів втрат лісового покриття, який тісно корелює з поняттями періодичності затухання і виникнення нових осередків ослаблення лісостанів внаслідок ураження чи пошкодження їх різними видами фітопатогенів і шкочочинних комах. Відзначено, що дані, отримані внаслідок дистанційного зондування лісових насаджень, розширюють спектр можливостей щодо встановлення кількісних та якісних характеристик лісу, дають змогу відстежувати динаміку насаджень, дають детальну інформацію про територіальне розміщення лісів, їх межі та параметри.

Ключові слова: геоінформаційний аналіз; GoogleEarth; Global Forest Watch; лісові ділянки; чинники навколишнього середовища.

Вступ / Introduction

Дослідження та аналіз змін площ лісового покриття дає змогу проводити оцінювання сучасного стану, ступінь збереженості природних ресурсів, рівня деградації, а також безпосередній вплив на біорізноманіття. Актуальність таких досліджень підкріплюється необхідністю розроблення ефективних стратегій відновлення лісів, які є важливими для сталого розвитку і збереження природної спадщини для майбутніх поколінь.

Останніми десятиліттями спостерігається дестабілізація лісових екосистем за рахунок епіфітотійного висихання лісотвірних видів деревних рослин, зокрема через поширення короїда верхівкового і трахеомікозу сосни звичайної [1, 26], бактеріальної водянки берези повислої, дуба звичайного та ялиці білої [9, 14], а також через негативний комплексний вплив абіотичних і біотичних чинників навколишнього середовища [13]. Тому наразі надзвичайно важливо реєструвати нові осередки та здійснювати моніторинг вже наявних ослабле-

них ділянок лісу для загального розуміння порушення гомеостатичної рівноваги лісостанів, розмірів фактичних і потенційних збитків та вчасного впровадження заходів захисту. Застосування сучасних методів дистанційного зондування землі та геоінформаційних технологій дає змогу відносно швидко та точно отримати інформацію щодо змін стану та площ лісового покриття конкретного регіону.

Об'єкт дослідження – лісовий покрив Покутсько-Буковинських Карпат.

Предмет дослідження – методи і засоби визначення змін площ лісового покриття та причин ослаблення лісів дослідного регіону в контексті оцінки їхнього санітарного стану, що дасть змогу отримати об'єктивну оцінювання сучасного стану лісів та допоможе у прийнятті рішень щодо їхнього збереження.

Мета роботи – провести порівняльний аналіз змін площ лісового покриття Покутсько-Буковинських Карпат засобами геоінформаційних технологій, що дасть

Інформація про автора:

Кульбанська Іванна Миколаївна, канд. біол. наук, доцент, кафедра лісівництва.

Email: i_kulbanska@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-3424-8106>

Цитування за ДСТУ: Кульбанська І. М. Моніторинг змін площ лісового покриття Покутсько-Буковинських Карпат засобами геоінформаційних технологій. Науковий вісник НЛТУ України. 2024, т. 34, № 5. С. 23–28.

Citation APA: Kulbanska, I. M. (2024). Monitoring of changes in the forest cover area of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians using geoinformation technologies. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(5), 23–28. <https://doi.org/10.36930/40340503>

змогу розробити ефективні стратегії ведення лісового господарства в регіоні.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*:

- визначити площі вкритих лісовою рослинністю ділянок за допомогою програм GoogleEarth та Global Forest Watch у розрізі Покутсько-Буковинських Карпат та проаналізувати динаміку для об'єктивної оцінки їх сучасного стану, що дасть змогу виявити тенденції у зміні площі лісів за останні роки;
- встановити чинники, які спричинили відмирання лісів і пов'язані з цим зміни площ лісового покриву дослідного регіону, що дасть змогу розробити ефективні стратегії для їх збереження та відновлення, а також для прийняття відповідних управлінських і лісогосподарських рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження змін площі лісового покриву за допомогою дистанційних методів є надзвичайно ефективним і сучасним підходом, що дає змогу отримати точні та масштабні дані. Основними інструментами та методами, які використовуються у таких дослідженнях, є: супутникові знімки (Landsat, Sentinel-2, MODIS та ін.), аерофотознімання, технологія LIDAR, геоінформаційні системи, спектральний аналіз тощо.

Використання супутникових знімків дає змогу моніторити великі площі лісів у різних регіонах світу. Так, наразі на основі аналізу даних дрібномасштабних супутникових знімків зафіксоване різке збільшення площі вирубаних лісів (на 49,0 %) і втрат біомаси (на 69,0 %) у Європі після 2015 року. Зазначається, що такі зміни напружують кореляцію із розширенням ринків деревини [6]. Також глобального масштабу досягло дослідження безперервного моніторингу за використанням тестової методології за часовими рядами Landsat для звітності REDD+ зі зміни лісових ландшафтів після їх порушення [2]. Картографування лісового покриву за допомогою цифрового аерофотознімання та глибокої згорткової нейронної мережі дало змогу встановити стан дерев (мертві чи живі), а також спрогнозувати майбутні зміни у межах деревостану. Загальна точність цього дослідження становила 96,0 % для оцінювання стану здоров'я деревних рослин (як хвойних, так і листяних) і 85,0 % для оцінювання функціонального типу рослини [22]. За допомогою повітряного лазерного сканування, цифрової аерофотограмметрії і алгоритмів зіставлення зображень отримано масив даних для оновлення поточної інформації щодо інвентаризації лісів [8]. Технологія LIDAR створює тривимірні моделі лісового покриву, оцінюючи висоту дерев, густоту рослинності та інші параметри, що важливі для моніторингу змін лісів [5]. Використання ГІС дає змогу інтегрувати та аналізувати просторові дані, отримані з різних джерел. Так, фіксується масове зменшення обсягів лісового покриву, яке пов'язане з розширенням сільського господарства на периферії лісу [18]. Останні дослідження щодо класифікації та ідентифікації наземного покриву, визначення санітарного стану окремих дерев, виявлення змін лісового покриву за допомогою мультиспектральних і стереоданих ZiYuan-3 здійснюють китайські дослідники [24].

Часковський О. і Гриник Г. [7] представили результати оцінювання втрат лісового покриву Українських Карпат (на прикладі Національного природного парку "Сколівські Бескиди") за період 2000-2018 рр. дистанційними методами на основі дешифру-

вання супутникових знімків. Порівняння отриманих даних щодо втрати лісового покриву вказує на значні обсяги втрат на території військових лісництв, які були набагато вищими, ніж на інших територіях, що свідчить про їхнє антропогенне походження, зазвичай пов'язане зі значними обсягами рубок. Б. Русин та співавтори [19], використовуючи згорткові нейронні мережі під час дистанційного зондування Землі, провели розпізнавання ушкодженого лісу і встановили, що основними причинами ослаблення лісових територій є зміна клімату, збудники хвороб та шкідники. Також автори запропонували новий підхід до автоматичної локалізації та розпізнавання пошкоджених/уражених деревних рослин на початковому етапі висихання, що має велике практичне значення для екологічного моніторингу та лісівництва. А. Мельник і М. Ячнюк [16] провели дослідження просторово-часових особливостей лісових ресурсів з 2001 по 2020 рр. засобами ГІС-технологій території Селятинської територіальної громади Чернівецької області. Зауважено, що найнижчі значення кількісних показників часового розподілу зникнення деревного покриву було зафіксовано на початку 2000-х років, зокрема у 2001 р. показник становив 53 га, а найвищим він був у 2007 р. і становив 426 га. Масштабна праця, пов'язана з інвентаризацією рівнинних лісів України за даними супутникового знімання, належить В. Миронюку [17].

Незважаючи на те, що ГІС-технології досить широко застосовуються для оцінювання стану агрокультур ценозів, вони не в повному обсязі задіяні у процесі моніторингу лісових територій України, перебувають у статусі постійних змін і корективів, тому потребують уточнень та доповнень [10].

Матеріали та методи дослідження. Моніторинг довгострокових змін лісовкритих площ Покутсько-Буковинських Карпат проводили за допомогою хмарних платформ GoogleEarth (<https://earth.google.com>) та Global Forest Watch (<https://www.globalforestwatch.org/>) дистанційними методами. Для здійснення аналізу кліматичних змін на рівні областей регіону дослідження виокремлено статистичні дані двох метеостанцій: Чернівці (48°22'N, 25°54'E) та Івано-Франківськ (48°54'N, 24°42'E), а також сайту "Метеопост" (<https://meteopost.com/>). Для оцінювання санітарного стану лісів використовували загальноприйняті методи фітопатологічних досліджень і лісопатологічних обстежень.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Покутсько-Буковинські Карпати – гірський масив, що розташований у зовнішній смузі північного мегасхилу Українських Карпат, у межах Івано-Франківської та Чернівецької областей. Загальна площа масиву – 659,7 км², що становить близько 3 % від площі Українських Карпат [11]. Площа лісів Покутсько-Буковинських Карпат становить 39,1 тис. га, з них частка ялинових лісостанів природного походження – 8,2 тис. га або 21,0 % від площі лісів регіону. Близько третини території Покутсько-Буковинських Карпат віднесено до природно-заповідного фонду. Лісове господарство на цій території здійснюють такі лісокористувачі: філії "Берегометське лісомисливське господарство", "Верховинське лісове господарство", "Гринявське лісове господарство", "Кутське лісове господарство", "Черні-

вецьке лісове господарство" Державного спеціалізованого господарського підприємства "Ліси України", районне підприємство "Косівський райагроліс" обласного комунального підприємства "Івано-Франківсько-благроліс", Верховинський районний лісгосп, а також Національні природні парки "Вижницький", "Гуцульщина" та "Черемоський" [15]. Структура і породний склад лісів Покутсько-Буковинських Карпат видозмінювалися залежно до кліматичних змін відповідних геологічних періодів [20].



Рис. 1. Схема моніторингу змін лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат за картою Global Forest Watch / Process of monitoring changes in the forest cover of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians according to the Global Forest Watch Map (<https://www.globalforestwatch.org/>)

Використання ГІС-інструментарію для моніторингу лісистості Покутсько-Буковинських Карпат здійснювали на підставі геоданих Global Forest Change, урахувавши зімкнутість лісового покриву та його зміни з 2001 по 2022 рр. (рис. 1). Відзначаємо, що вся рослинність заввишки понад 5 м дешифрована як лісовий покрив, а також використовується мозаїка безхмарних знімків сезону вегетації рослин. Тобто геодані характеризують зімкнутість лісового покриву, адже відповідають умові розрахунку верхнього ярусу на площу, не меншу як 500 м². Отже, встановлено, що станом на 2010 р. 65,0 % території Покутсько-Буковинських Карпат вкрито деревами >30,0 %.

Таблиця. Втрати лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат упродовж 2001-2022 рр. / Forest cover loss in the Pokuttia-Bukovyna Carpathians during 2001-2022

Рік	Втрата лісового покриву (Global Forest Watch)		Показник вологозабезпеченості	Площа всихання, га (ДСЛП "Івано-Франківськлісозахист")
	га	%		
2001	619	0,39	30,1	11025,5
2002	543	0,34	36,8	13711,1
2003	441	0,27	41,1	15993,0
2004	578	0,36	39,4	13210,1
2005	430	0,27	37,5	12823,0
2006	723	0,45	32,2	11713,0
2007	3370	2,21	42,0	10085,9
2008	841	0,52	50,1	9997,1
2009	610	0,38	23,3	9539,2
2010	1480	0,92	35,0	10135,5
2011	990	0,62	36,8	11263,7
2012	1430	0,89	39,7	12264,5
2013	674	0,42	30,9	3836,0
2014	905	0,56	36,0	6109,0
2015	658	0,41	38,0	6270,0
2016	1040	0,65	35,7	6467,0
2017	998	0,62	37,2	7278,0
2018	784	0,49	33,2	6400,3

2019	424	0,26	31,5	7749,1
2020	706	0,44	45,1	7756,3
2021	547	0,34	40,0	7740,9
2022	465	0,29	23,2	7935,1

У період з 2001 по 2022 роки (див. таблиця) територія Покутсько-Буковинських Карпат втратила 19,3 тис. га лісового покриву, що еквівалентно зменшенню лісового покриву на 12,0 % з 2000 року. Простежується залежність темпів всихання лісів від показника вологозабезпеченості і встановлено періодичність (циклічність) цього явища. Примітно, що рокам масового всихання лісів (2002-2003, 2011-2012) передували роки, які характеризувалися різким гідротермічним стресом (зниження показника вологозабезпеченості – 2001, 2009, 2022). На підставі цієї залежності можна очікувати на нову хвилю масового всихання лісів найближчими роками.

Встановлено, що причинами, які спровокували зміни (зокрема зменшення) площ лісового покриву дослідного регіону є комплексний довготривалий вплив взаємопов'язаних чинників навколишнього середовища. Насамперед, йдеться про негативний вплив антропоїчної діяльності (зокрема лісгосподарської), абіотичні чинники (гідротермічний стрес) та чинники біотичного походження (епіфітотійне поширення небезпечних видів фітопатогенів, а також камбіо- і ксилофагів) як головні предиктори впливу. Припускаємо, що до чинників "первинного" впливу належать абіотичні та антропоїчні, наслідками дії яких є поступова зміна видового складу деревостанів (зокрема зменшення частки листяних деревних видів у складі ялицевого лісостану, які не інфікуються однаковими з ялицею видами хвороб, що може сприяти загальному зниженню резистентності деревостану до збудників інфекційних патологій, зокрема і епіфітотійних). Біотичні чинники потрібно вважати вторинними чинниками впливу, оскільки, підсилюючи роль попередніх, вони призводять до незворотних змін у лісових екосистемах (рис. 2).

Здійснюючи моніторинг змін площ лісового покриву можна помітити певний інтервал (орієнтовно 10-річний період) інтенсифікації процесів втрат лісового покриву, що тісно корелює з поняттями періодичності затухання і виникнення нових осередків ослаблення лісостанів внаслідок ураження чи пошкодження їх різними видами фітопатогенів і шкочинних комах. Аналіз матеріалів санітарних обліків і власних досліджень (на підставі проведення лісопатологічного обстеження) дає змогу виокремити основні чинники біотичного походження, які сприяють зміні (втраті) лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат. Особливо поширеними є збудники стовбурових, кореневих та окоренових гнилей, які, оселяючись на ослаблених та відмираючих деревних рослинах, сприяють пришвидшенню процесів біодеструкції.

Серед виявлених видів макроміцетів високими показниками поширеності характеризувались такі види: *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. 1881, *Phellinus hartigii* (Allesch. & Schnabl) Pat., 1903, *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murrill 1920, *Inonotus obliquus* (Pers.) Pilát 1942, *Phellinus igniarius* (L.) Quél. 1886, *Daedalea quercina* (L.) Pers. 1801, *Fomes fomentarius* (L.) Fr. 1849, *Trichaptum abietinum* (Pers. ex J. F. Gmel.) Ryvarden, 1972, *Ganoderma applanatum* (Pers.: Wallr.) Pat. 1887, *Ganoderma resinaceum* Boud. 1889, а також гриби роду *Heeterobasidium* Bref. 1888 та *Armillaria* (Fr.) Staude 1857.

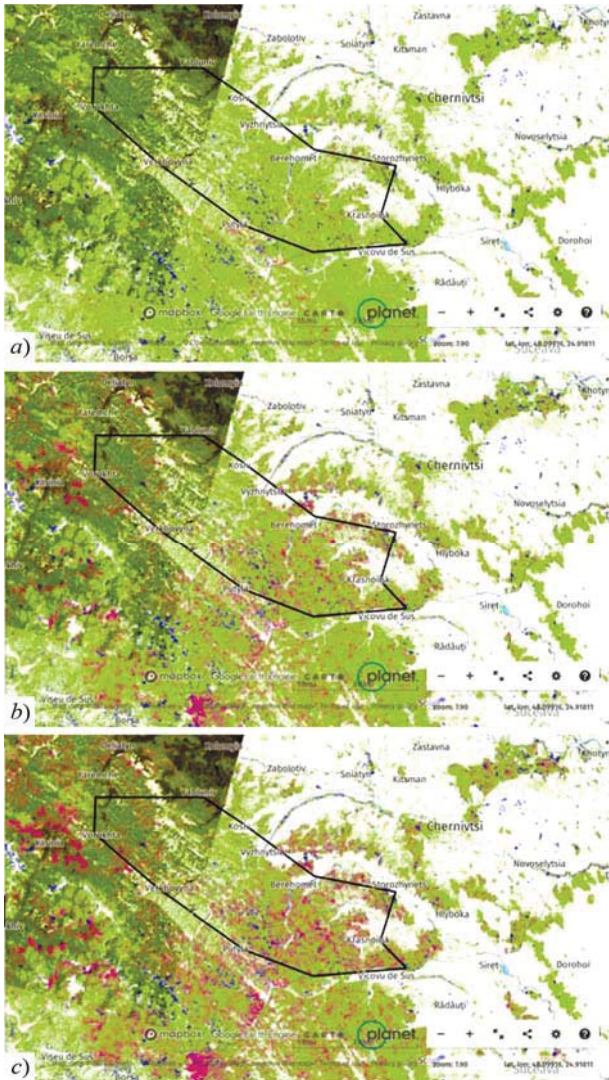


Рис. 2. Порівняльний аналіз втрат лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат у 2004 (а), 2012 (b) та 2020 (c) роках / Comparative analysis of forest cover loss in the Pokuttia-Bukovyna Carpathians in 2004 (a), 2012 (b) and 2020 (c)

Досить поширеними у межах дослідних лісостанів є збудники ракових і некротичних хвороб, зокрема *Meilampsorella cerastii* (Pers.) J. Schröt. 1887 (збудник виразково-пухлиноподібної хвороби ялиці білої) та *Neonectria ditissima* (Tul. & C. Tul.) Samuels & Rossman 2006 (збудник нектріозу бука європейського).

Найнебезпечнішим у плані сприяння втрат лісового покриву внаслідок стрімкого поширення бактеріальної водянки, збудником якої є фітопатогенна бактерія-полібіотроф *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013, яка наразі уражує деревостани за участю ялини європейської та ялиці білої, спричиняючи відмирання дерев, особливо старших вікових груп.

Обговорення результатів дослідження. Аналізуючи отримані результати, а також літературні джерела за темою дослідження можна виокремити потенційні чинники зміни площ лісового покриву, а також ідентифікувати тригери, що ведуть до ослаблення санітарного стану лісів загалом та Покутсько-Буковинських Карпат зокрема.

Деякі дослідники, зокрема А. Банскота та співавтори [4], у своїх працях наводять інформацію, що динаміка лісових площ є наслідком комбінації короточасних подій (наприклад, гідротермічний стрес) або довготри-

валого впливу чинників довкілля (наприклад, зміна клімату, антропогенний тиск). Автори наголошують на наростання потреби у розумінні та постійному моніторингу часової та просторової динаміки площ лісового покриву, що, безумовно, тісно корелює з біотичною стійкістю лісових екосистем у контексті стрімких глобальних змін клімату.

Бейкер Д. та співавтори [3] стверджують, що дані дистанційного зондування потенційно можуть вирішити проблему скорочення викидів парникових газів, а також шляхів збереження, сталого управління лісами та збільшення запасів вуглецю в лісах, забезпечуючи засоби для оцінювання базових потреб лісу в просторово чіткому вигляді, відхилення від якого можна використовувати для оцінювання поточних та історичних тенденцій знеліснення та деградації лісів.

Хуєте А. [12] пропонує ефективний спосіб вимірювання та моніторингу величезних лісових масивів на підставі спектральних показників рослинності, що дають змогу оцінити біофізичний стан, функціонування, фенологічні порушення та зміни лісового покриву. П. Тенкабайл та співавтори [23] проводять дослідження портативних спектрорадіометрів або гіперспектральних приладів дистанційного зондування, встановлених на борту літака чи супутника для моделювання та картографування рослинності (зокрема лісової) та сільськогосподарських культур. Вони зазначають, що майбутнє дистанційного зондування може містити регулярне отримання гіперспектральних даних, з яких імітуються широкосмугові діапазони (наприклад, діапазони Landsat) і використовують для поглиблених досліджень щодо класифікації рослинності, моніторингу санітарного стану, картографування тощо. З. Чжу [25] також вважає ефективним і раціональним використання часових рядів Landsat для виявлення змін, зокрема огляду частот, попереднього оброблення, алгоритмів і програм. А. Шталь зі співавторами [21] досліджували методи автоматизованого визначення типів порушень лісу (наприклад, лісових пожеж, збирання врожаю або спалахів патогенів чи комах) за даними дистанційного зондування. Останні досягнення містять розроблення та тестування алгоритмів для автоматичного виявлення та приписування низки типів порушень у великих лісових ландшафтах на підставі зображень дистанційного зондування.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів – вперше досліджено кореляцію змін площ лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат з показником вологозабезпеченості на підставі аналізу бази геоданих Global Forest Change, кліматичних даних Метеопост і комплексних лісопатологічних обстежень, що дало змогу виявити тенденції та оцінити сучасний стан лісів дослідного регіону.

Практична значущість отриманих результатів – результати аналізу змін площ лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат засобами геоінформаційних технологій, яке містило виокремлення предикторів та діючих чинників деградації, використано для розроблення методичних підходів до виявлення і діагностування деревостанів зі зниженим ступенем біотичної стійкості, які будуть впроваджені для аналізу санітар-

ного ризику та швидкого й обґрунтованого прийняття рішень щодо здійснення лісозахисних заходів.

Висновки / Conclusions

Проведено порівняльний аналіз змін площ лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат засобами геоінформаційних технологій, що дало змогу отримати об'єктивні дані і тенденції щодо змін площ ділянок, вкритих лісовою рослинністю, і оцінити їх сучасний санітарний стан. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. З'ясовано, що проведене дослідження наразі сприяє розумінню та оцінюванню змін площ лісового покриву Карпатського регіону (на прикладі лісів Покутсько-Буковинських Карпат), що важливо для екологічного стану регіону та прийняття обґрунтованих рішень щодо збереження та управління лісовими екосистемами.
2. На підставі даних моніторингу змін лісистості Покутсько-Буковинських Карпат (згідно з геоданими Global Forest Change) у період з 2001 по 2022 рр. дослідна територія втратила 19,3 тис. га лісового покриву.
3. Встановлено, що існує циклічність всихання лісів (орієнтовно 10 річний період), яка тісно корелює з різними змінами показників (середньозважених річних) температури повітря та опадів (показника вологозабезпеченості). Так, масове всихання лісів Покутсько-Буковинських Карпат (2002-2003 рр., 2011-2012 рр.) відзначалося одразу після років зниження показника вологозабезпеченості (2001 р., 2009 р., 2022 р.). Виходячи з цієї закономірності, можна прогнозувати нову хвилю масового всихання лісів найближчими роками.
4. Встановлено, що причинами, які спровокували зменшення площ лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат, є довготривалий комплексний вплив чинників довкілля. До чинників "первинного" впливу належать абіотичні (гідротермічний стрес) та антропогенні (нерегульована лісгосподарська діяльність). Біотичні чинники (масове поширення камбіо- і ксилофагів, а також небезпечних видів фітопатогенів) потрібно вважати вторинними чинниками впливу. Вони підсилюють дію первинних чинників, призводячи до порушення біотичної стійкості деревостанів та незворотних змін у лісових екосистемах.
5. Аналізуючи результат цього дослідження, необхідно вжити невідкладних заходів для збереження та відновлення лісів Карпатського регіону. Це може бути вдосконалення системи контролю за лісовими ресурсами, зміцнення законодавства та його ефективне виконання, сприяння створенню сталого лісового господарства та залучення громадськості до участі в охороні лісів.
6. З'ясовано, що моніторинг змін площ лісового покриву засобами геоінформаційних технологій сприяє розробленню нових підходів до обліку лісу та його стану. Подальші дослідження мають бути спрямовані на отримання матеріалів оцінювання проблемних ділянок, на охорону і захист яких необхідно звернути увагу, зрозуміти тенденції зміни лісистості, досягнути масштаби знеліснення лісових ділянок і вчасно вжити необхідних заходів.

References

1. Andreieva, O. Y., Vyshnevskiy, A. V., & Boliujh, S. V. (2019). Population dynamics of bark beetles in the pine forests of Zhytomyr region. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(8), 31–35. <https://doi.org/10.36930/40290803>
2. Arévalo, P., Olofsson, P., & Woodcock, C. E. (2020). Continuous monitoring of land change activities and post-disturbance dynamics from Landsat time series: A test methodology for REDD+ reporting. *Remote Sensing of Environment*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.013>
3. Baker, D. J., Richards, G., Grainger, A., Gonzalez, P., Brown, S., DeFries, R., Held, A., Kellndorfer, J., Ndunda, P., Ojima, D., Skrovseth, P.-E., Souza, C. Jr., & Stolle, F. (2010). Achieving forest carbon information with higher certainty: A 5-part plan. *Environmental Science & Policy*, 13(3), 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.004>
4. Banskota, A., Kayastha, N., Falkowski, M. J., Wulder, M. A., Froese, R. E., & White, J. C. (2014). Forest Monitoring Using Landsat Time Series Data: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(5), 362–384. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.987376>
5. Boucher, P. B., Hancock, S., Orwig, D. A., Duncanson, L., Armston, J., Tang, H., & Schaaf, C. (2020). Detecting change in forest structure with simulated GEDI lidar waveforms: a case study of the hemlock woolly adelgid (HWA; *Adelges tsugae*) infestation. *Remote Sensing*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/rs12081304>
6. Ceccherini, G., Duveiller, G., Grassi, G., Lemoine, G., Avitabile, V., Pili, R., & Cescatti, A. (2020). Abrupt increase in harvested forest area over Europe after 2015. *Nature*, 583(7814), 72–77. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2438-y>
7. 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>
8. Goodbody, T. R., Coops, N. C., & White, J. C. (2019). Digital aerial photogrammetry for updating area-based forest inventories: A review of opportunities, challenges, and future directions. *Current Forestry Reports*, 5, 55–75. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00087-2>
9. Goychuk, A. F., Drozda, V. F., Kulbanska, I. M., & Shvets, M. V. (2019). Bacterioses of forest woody plants in the forests of Polissya and Foreststeppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10(2), 14–25. <https://doi.org/10.31548/forest2019.02.014>
10. Horelyk, S., Saul-Howe, D., & Sych, R. (2023). Methodology for determining forest losses using GIS technologies. *Ukrainian journal of remote sensing*, 10(2), 19–26. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.2.237>
11. Hostiuk, Z. V., & Melnyk, A. V. (2017). Pokut Carpathians in the system of physiographic zoning of the Ukrainian Carpathians. *Physical geography and geomorphology*, 4(88), 12–21. [In Ukrainian]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2017_4_4
12. Huete, A. R. (2012). Vegetation indices, remote sensing and forest monitoring. *Geography Compass*, 6(9), 513–532. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2012.00507.x>
13. Kramarets, V., & Matsiakh, I. (2018). The role of biotic factors in spruce decline in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 121–132. <https://doi.org/10.15421/411827>
14. Kulbanska, I., Shvets, M., Goychuk, A., Sporek, M., Pasichnyk, L., Patyka, V., & Bąk, M. (2022). Phytopathogenic Bacteria associated with bacterioses of common oak (*Quercus robur* L.) in Ukraine. *Forests*, 14(1), 14–16. <https://doi.org/10.3390/f14010014>
15. Losiuk, V. P., Pohribnyi, O. O., Tomych, M. V., Chaskovskiy, O. H., Vandzhurak, P. I., & Debryniuk, Yu. M. (2021). The state and structure of natural spruce forests of the Pokut Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22. <https://doi.org/10.15421/412104>
16. Melnik, A. A., & Yachniuk, M. O. (2022). Application of geoinformation technologies for observation of the forest cover. *Scientific Bulletin of KSU Series Geographical Sciences*, 16, 32–39. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2022-16-3>
17. Mironyuk, V. V. (2020). *Inventory of plain forests of Ukraine according to satellite imagery*. Monograph. Kharkiv: JSC "Kharkiv Book Factory" GLOBUS". 240. [In Ukrainian]. URL: https://www.researchgate.net/profile/Viktor-Myroniuk/publication/346788204-Inventarizacia_rivninnih_lisiv_Ukraini_zo_danimi_suputnikovoi_zjomki_monogra

- fia/links/5fd26ab8a6fdcc697bf6f500/Inventarizacia-rivninnih-lisiv-Ukraini-za-danimi-suputnikovoi-zjomki-monografia.pdf
18. Negassa, M. D., Mallie, D. T., & Gemeda, D. O. (2020). Forest cover change detection using Geographic Information Systems and remote sensing techniques: a spatio-temporal study on Komto Protected forest priority area, East Wollega Zone, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 9, 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-0163-z>
 19. Rusyn, B. P., Lutsyk, O. A., Kosarevych, R. Ya., & Obukh, Yu. V. (2021). Recognition of damaged forest with the help of convolutional models in remote sensing. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.23939/ujit2021.03.001>
 20. Shparyk, Y., Krynytskyy, H., & Debryniuk, I. (2020). Trends in the dynamics of types of forest vegetation conditions and species composition of stands of the Ukrainian Carpathians in connection with climate changes. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, 82–92. <https://doi.org/10.15421/412008>
 21. Stahl, A. T., Andrus, R., Hicke, J. A., Hudak, A. T., Bright, B. C., & Meddens, A. J. (2023). Automated attribution of forest disturbance types from remote sensing data: A synthesis. *Remote Sensing of Environment*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113416>
 22. Sylvain, J. D., Drolet, G., & Brown, N. (2019). Mapping dead forest cover using a deep convolutional neural network and digital aerial photography. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 156, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.07.010>
 23. Thenkabail, P. S., Gumma, M. K., Teluguntla, P., & Irshad, A. M. (2014). Hyperspectral remote sensing of vegetation and agricultural crops. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (TSI)*, 80(8), 695–723. URL: <https://hdl.handle.net/20.500.11766/5374>
 24. Xie, Z., Chen, Y., Lu, D., Li, G., & Chen, E. (2019). Classification of land cover, forest, and tree species classes with ZiYuan-3 multispectral and stereo data. *Remote Sensing*, 11(2), 164. <https://doi.org/10.3390/rs11020164>
 25. Zhu, Z. (2017). Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 370–384. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.013>
 26. Zhukovskiy, O. V., Krasnov, V. P., Ivaniuk, I. D., Kurbet, T. V., & Zborovska, O. V. (2020). Spread of the sharp-dentated bark beetle (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) and tracheomycosis of conifers through the silver pine trunk. *Scientific bulletin of UNFU*, 32(4), 38–43. <https://doi.org/10.36930/40320406>

I. M. Kulbanska

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

MONITORING OF CHANGES IN THE FOREST COVER AREA OF THE POKUTTIA-BUKOVYNA CARPATHIANS USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

The research deals with monitoring changes in the forest cover of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians by using GIS tools, in particular, the Internet resources GoogleEarth and Global Forest Watch. Application of the tools mentioned allows assessing the degree of conservation of natural resources, and also determining the level of degradation, as well as the impact on biodiversity. In the course of research we have revealed that as of 2010, 65.0 % of the territory of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians was covered with trees >30.0 %. In the period from 2001 to 2022, the territory of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians lost 19.3 thousand hectares of forest cover, which is equivalent to a decrease in forest cover by 12.0 % since 2000. The reasons that provoked the changes, in particular, the decrease in the area of the forest cover of the experimental region are identified to be complex long-term influence of interrelated environmental factors such as abiotic, biotic, and anthropic. It is emphasized that biotic factors should be considered secondary factors of impact, since strengthening the role of the previous ones, they lead to irreversible changes in forest ecosystems. The main factors of biotic origin contributing to the change (loss) of the forest cover of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians are singled out. Firstly, these are wood-destroying fungi, as well as causative agents of cancer and necrotic diseases, in particular, *Melampsorella cerasatii* and *Neonectria ditissima*. These are the most dangerous in terms of contributing to the forest cover loss due to the rapid spread of bacterial dropy (*Lelliottia nimipressuralis*), which is currently causing the death of European spruce and white fir trees, especially of older age groups. During the monitoring of changes in forest cover, it was noticed that the years of mass forest drying (2002-2003, 2011-2012) were preceded by years characterized by sharp hydrothermal stress (decreasing moisture availability index – 2001, 2009, 2022). That is, there is a certain interval (roughly a 10-year period) of the intensification of the processes of forest cover loss, which is closely correlated with the concepts of the periodicity of decay and the emergence of new foci of weakening of forest stands as a result of damage or damage caused by various types of phytopathogens and harmful insects. Therefore, the data obtained as a result of remote sensing of forest plantations expands the range of opportunities for establishing quantitative and qualitative characteristics of the forest, allows monitoring the dynamics of plantations, and provides detailed information about the territorial location of forests, their boundaries and parameters.

Keywords: geoinformation analysis; GoogleEarth; Global Forest Watch; forest areas; environmental factors.