

1. ЛІСОВЕ ТА САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО



Науковий вісник НЛТУ України
Scientific Bulletin of UNFU

<https://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40290201>

Article received 11.03.2019 p.

Article accepted 28.03.2019 p.

УДК 630*587.6



ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

@ ✉ Correspondence author

O. H. Chaskovskyy

oleh.chaskov@googlemail.com

О. Г. Часковський¹, Д. Ю. Карабчук^{1,2}, А. П. Іванюк¹

¹ Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

² Дунайсько-Карпатська програма Всесвітнього фонду природи (WWF-DCP), м. Львів, Україна

ЗМІНИ ЛІСОВОГО ВКРИТТЯ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ЗА ПЕРІОД 1984–2016 РОКІВ

Масштабні зміни лісового вкриття негативно впливають передусім на гідрологічні та ґрунтові умови та загалом на екологічні функції лісів. В Українських Карпатах події, пов'язані з пошкодженнями лісового намету, зумовлені не тільки природними чинниками, такими, як погодні умови чи шкідники й хвороби, але і чинниками антропогенного впливу, такими, як збільшення обсягів вирубування лісу, основними драйверами яких є соціально-економічні потрясіння та зміна способів ведення лісового господарства й ефективність правозастосування в лісовому секторі. Метою цього дослідження було виявити обсяги порушень намету деревостанів у лісах Українських Карпатах протягом 1984–2016 рр. Для дослідження використано часові ряди зображень, отриманих із супутникових знімків проекту "Landsat" із застосуванням засобу візуалізації "TimeSync". Отже, на основі випадкової вибірки, 2000 ділянок було здійснено оцінку щорічного пошкодження намету лісу, які враховували як природні порушення, так і антропогенні. Відповідно до результатів вибірки, середня лісистість для всієї досліджуваної території протягом 1984–2016 рр. становила 65,50 %. Більше половини досліджуваного періоду значення лісових порушень коливались між 0,50–1,00 %, серед них було десять років, коли порушення були між 0,75–1,0 %. Загалом показники порушень лісового вкриття в Українських Карпатах сильно коливаються, причому значні помітні піки з'явилися після 1990 та 2012 рр. Більше того, антропогенні зміни, спричинені лісозаготівлями (зокрема суцільними та вибірковими), становили 92,07 % всіх порушень, тоді як лише 7,93 % порушень лісового намету пов'язані з природними чинниками. Аналіз піків коливань змін порушень лісового вкриття дає підстави вважати, що чинниками коливання щорічних показників, спричинених рубками, можуть бути політичні, пов'язані із зміною законодавства із часом та економічною ситуацією, спровокованою збільшенням і зменшенням попиту на ресурси деревини. Для природних порушень спостережено три різні хвилі на початку 1990-х, 2000-х та 2010-х років, які демонструють синхронізацію динаміки природних порушень з іншими помірними лісами Європи в субконтинентальному просторовому масштабі. Отже, результати здійсненого дослідження можна використати під час планування розвитку лісового господарства в Карпатах. При цьому варто приділяти більше уваги тренду зміни лісового вкриття, звертаючи особливу увагу на вразливість лісів до кліматичних змін, і розглянути вплив поточної нестабільної соціально-економічної ситуації на появу масштабних вирубок лісів в Україні.

Ключові слова: супутникові знімки Landsat; програма TimeSync; порушення лісового намету.

Вступ. Від лісів людське суспільство отримує не тільки значні економічні ресурси, а й незамінні для життя екосистемні послуги. Серед важливих функцій лісу ми зазвичай виокремлюємо формування локального кліматичного середовища, наявність стабільного обсягу чистої води, середовище існування дикої природи, продукування кисню і депонування вуглецю, рекреаційні можливості та продукування інших недревних продуктів лісу. Проте лісові ресурси значно залежать від складу та стану лісу, наприклад: породи дерев, повноти лісу, а також пошкоджень лісового намету. Пошкодження лісового намету визначаються як великі імпульси відмирання дерев від таких подій, як: пожежі ін-

вазії шкідників, сильні вітри або лісозаготівля. Вони можуть призвести до певного порушення сталої динаміки змін лісового середовища, породного складу лісів, структури та його функціональності. Окрім цього, знеліснення та відновлення лісів вважаються критичними механізмами перенесення вуглецю між атмосферою та поверхнею землі. В атмосферу вуглець викидається способом окислення та розкладання деревини і навпаки, лісовідновлення може забирати назад вуглець із атмосфери. Тому кількісна оцінка лісових порушень корисна не тільки для оцінки лісових ресурсів, але й для визначення вмісту вуглецю та похідних від цього інших можливостей лісу. Також сьогодні щоразу важливішого

Інформація про авторів:

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

Email: oleh.chaskov@googlemail.com, oleh.chaskov@nltu.edu.ua

Карабчук Дмитро Юрійович, канд. с.-г. наук, наук. співробітник; ст. співробітник з питань лісів, консультант WWF-DCP.

Email: dmytro.karabchuk@gmail.com

Іванюк Андрій Петрович, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра лісових культур і лісової селекції. Email: ivanyukandr@ukr.net

Цитування за ДСТУ: Часковський О. Г., Карабчук Д. Ю., Іванюк А. П. Зміни лісового вкриття Українських Карпат за період 1984–2016 років. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 2. С. 9–14.

Citation APA: Chaskovskyy, 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>

значення набуває не тільки людська діяльність, а й здатність відповідальних осіб контролювати й прогнозувати наслідки від своєї діяльності в межах країни.

Мета дослідження – виявити обсяги зміни лісового вкриття у лісах Українських Карпатах упродовж 1984–2016 рр. Для дослідження використано часові ряди зображень, отриманих із супутникових знімків проекту "Landsat" із застосуванням засобу візуалізації "Time Sync". Отже, на основі вибірки, здійснено оцінку щорічної зміни лісового вкриття, які враховували вплив природних і антропогенних чинників.

Методика дослідження

Територію досліджень є Українські Карпати в межах чотирьох адміністративних областей: Львівської, Закарпатської, Івано-Франківської і Чернівецької (рис. 1). Для покриття супутниковими знімками території досліджень використано 5 сцен супутникових знімків "Landsat". Такі сцени необхідні для створення карти лісів для кожного року.



Рис. 1. Регіон дослідження

Для дослідження змін лісового вкриття від 1984 до 2016 рр. всього підібрано 58 знімків супутника "Landsat". Підібрані супутникові знімки "Landsat" були попередньо опрацьовані на предмет радіометричного коригування. З метою підвищення точності визначення порушень лісового вкриття на знімках усунуті сліди хмар та тіней від них.

Для виявлення змін у лісовому вкритті було відібрано тестові ділянки, котрі дали змогу ідентифікувати "лісову маску". Отже, було створено офіційну лісову маску на основі цифрових повидільних карт лісоінвентаризації для класифікації і порівняння супутникових знімків для систематичного вибору. Для аналізу змін лісового вкриття використано порівняння "лісової маски" для кожного періоду.

Дані "Ландсат". Усі сцени Ландсат, що охоплюють Українські Карпати в період з 1984 по 2016 рр., були завантажені з архіву USGS та ESA для створення бази даних часових рядів Landsat.

Розміщення контрольних ділянок. Для оцінки показників порушень лісових деревостанів в Українських Карпатах закладено додатково 2000 точок. Для цього застосовано статистичний метод вибірки, а саме: просту випадкову вибірку для всієї зони дослідження, де просторовою одиницею був піксель Landsat. Найбільшою перевагою випадкової вибірки є об'єктивна оцінка дисперсії.

Інтерпретація подій, пов'язаних із порушеннями лісу. Основний процес збирання даних реалізовано у

програмному забезпеченні TimeSync. TimeSync – це інструмент візуалізації даних часових серій Landsat, який спочатку розроблявся, щоб врахувати необхідність оцінки правильності виводу з автоматичних алгоритмів часових подій Landsat, таких як LandTrendr (LandTrendr, <http://landtrendr.forestry.oregonstate.edu>). Обґрунтованість підходу TimeSync для збирання високоточної інформації про порушення за допомогою візуальної інтерпретації часових рядів Landsat вже підтвердили Schroeder та співавтори (2014 р.). Також уже досліджено порушення лісу на території Сполучених Штатів Америки з 1985 по 2012 рр., що базується на використанні TimeSync (Cohen та ін., 2016). Окрім TimeSync, використано зображення з дуже високою роздільною здатністю з Google Планета Земля (<http://earth.google.com>). Для цього в Google Earth було імпортовано файл KMZ із контуром, величиною один піксель знімка Landsat.

У нашому дослідженні переважно відображаються дані Landsat, зняті в середині липня кожного року (день року близько 200). Як тільки якість даних (графічного чіпа) не може забезпечити якість інтерпретації (наприклад, хмарне покриття, неправильне оформлення, помилки сканування), його замінено іншим зображенням із найближчої дати.

Для достовірно правильного дизайну всі тестові ділянки спочатку базувались на ділянці величиною в один піксель, проте розглядали також оточення досліджуваних пікселів та історію змін лісового вкриття. Зафіксовано як земляне вкриття, так і типи землекористування. Що стосується типів землекористування, то розглядали два класи: "ліс" та "не ліс". При цьому у варіанті "ліс" описували землю, яка була штучно або природно заліснена і містила не менше 50 % деревного вкриття. У деревне вкриття включено: листяні, хвойні та змішані категорії природних лісів, лісових насаджень та лісових водно-болотних угідь. Окрім цього, згідно з визначенням лісу від ФАО, дерева повинні бути як мінімум на 0,5 га та розміром щонайменше 20 м. Усі інші типи землекористування, наприклад сільськогосподарські угіддя чи територія населених пунктів, були включені в "не ліс". Для обох типів земельних вкриттів та типів землекористування було зафіксовано лише основний тип ділянки. Мітки сегментів використовувались для запису процесів змін у часі. У цьому дослідженні розглянуто вісім чинників, що спричинили зміни лісового вкриття (табл. 1). Отже, зафіксовано лише переважаючі види землекористування та зміни поверхні землі, які займали понад 50 % площі ділянки.

Табл. 1. Опис процесів змін лісового вкриття, інтерпретованих Timesync на лісових ділянках

Чинник змін	Опис процесів змін
Стабільний	Немає відчутних змін у цьому сегменті
Лісовідновлення	Збільшення лісового вкриття через лісовідновлення чи лісорозведення
Суцільні рубки	Більше 90 % дерев, кущів чи іншої рослинності забрано внаслідок антропогенної діяльності
Вибіркові рубки	Часткова вибірка деревної рослинності до 90 %
Пожежі	Зміна лісового вкриття через природні чинники
Відмирання лісу	Процес зміни спектральних властивостей деревної рослинності внаслідок інвазії комах, хвороб чи кислотних дощів
Вітровали	Спричинені вітром пошкодження деревостанів
Гідрологічний вплив	Зміна оригінального наземного вкриття, спричиненого затопленнями

Під час інтерпретації знімків є деякі сигнали, які можна використати для визначення перебігу подій. Встановлено, що порушення, спричинені людською діяльністю, такі, як суцільні рубки та доглядові рубання, зазвичай трапляються протягом короткого періоду впродовж одного-двох років. Зокрема коли ділянка розташована на краю суцільної рубки і частина її повністю зрубана, тоді процес цього сегмента буде визначатися як "суцільна рубка", навіть якщо залишені дерева вкривають понад 10 % пробної площі.

Характеристика міток сегментів відображається у вікні траєкторії як різке зниження деяких показників, наприклад: Tasseled Cap wetness та NDVI. Щоб відрізнити ці два типи рубки, варто враховувати конкретне значення показників. Взагалі суцільні рубки на графіках представляють набагато крутіший градієнт, ніж вибіркові в той же час. Окрім цього, історичні зображення з високою роздільною здатністю в Google Планета Земля також підтверджують цю оцінку. Так виявлено, що вибіркові рубання, які відбулися у 2013 р., підтверджуються знайденими відповідними зображеннями в Google Планета Земля за 22 серпня 2011 р. та 27 вересня 2014 р. (рис. 2). Відповідно у 2014 р. ще було деревне вкриття, але щільність намету лісу стала нижчою, ніж у 2011 р. що є типовим процесом зрідження.

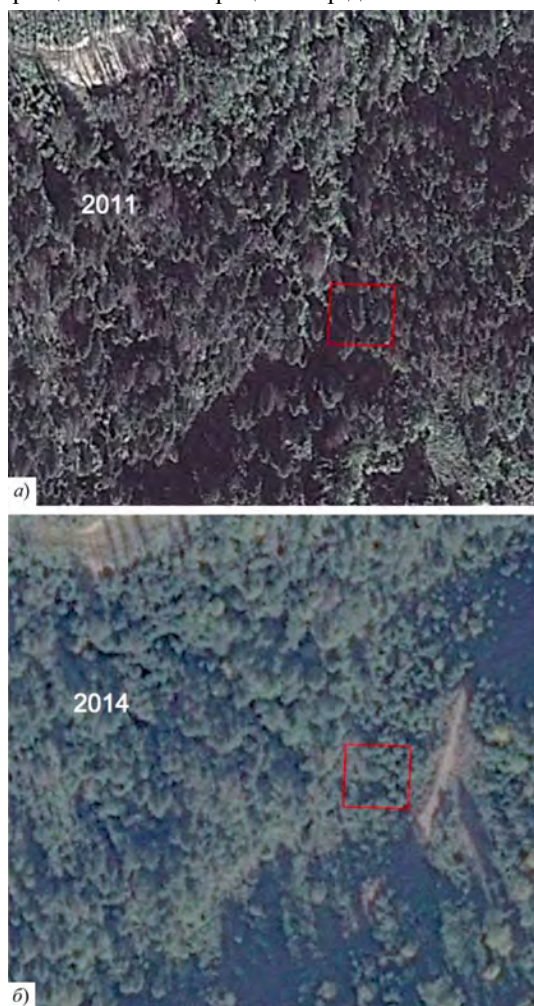


Рис. 2. Вибіркові рубки в 2013 р., виявлені порівнянням двох зображень від 22 серпня 2011 р. та 27 вересня 2014 р., отриманих з Google Планета Земля

Пожежа та вітровал також можуть трапитися в дуже короткий час, але край ураженої ділянки є нечітким, порівняно з площею зрубу, яку можна спостерігати на

фрагменті зображення. Більш того, поширення вогню та виникнення вітровалів у лісі відбувається набагато швидше, ніж прояв лісгосподарської діяльності людини, і велику різницю можна виявити лише між двома знімками одного місяця. Інші природні негативні чинники, такі як затоплення, тривають довше, а показники у вікні траєкторії змінюються поступово, а не раптово.

Зафіксовано всі спостережувані порушення в описах сегментів, а рік порушення визначено як рік, коли було виявлено порушення. Після завершення інтерпретації, дані в TimeSync були експортовані як файли значень, розділених комами, що містять таку інформацію, як: ідентифікатор площі, процес зміни, початок-кінець та типи використання земель.

Аналіз даних та оцінка частот порушень лісового вкриття. Аналіз вихідних даних із TimeSync здійснено у статистичній програмі R (<https://www.r-project.org>). На початку було перевірено наземні вкриття і вираховано відсоток лісу в досліджуваній зоні та кількість кожного виду порушень. Рівень порушень визначено як відношення площі порушених ділянок лісів до загальної площі вкритих лісовою рослинністю земель. Річні показники порушень розраховано за допомогою статистичного пакету "опитування" в R (<http://r-survey.r-forge.r-project.org/survey/>).

Окрім щорічних показників пошкоджень, за аналогічними методами було розраховано дані для трьохрічних періодів з 1984 по 2016 рр. та п'ятирічних періодів від 1986 до 2015 рр. Трирічний діапазон може надати більш зрозумілу інформацію, порівняно з річними даними, оскільки інформація про річні рівні порушень може бути розкиданою та нерегулярною, що унеможливає фіксування сезонних коливань. П'ятирічні дані можуть бути придатними для порівняння результату з даними інших досліджень, оскільки 5-річний інтервал часто використовується в інших дослідженнях. Більш того, щорічні значення кожного чинника природного впливу, а також антропогенних впливів (зокрема суцільні та вибіркові рубки) були розраховані для проведення комплексного аналізу порушень у досліджуваній області.

Результати дослідження

Загальні показники пошкодження лісового вкриття. За результатами даних вибірки, середня лісистість для всієї досліджуваної території впродовж 1984–2016 рр. становила 65,50 %. На цій території зареєстровано 290 зафіксованих подій упродовж останніх 33 років (табл. 2).

Табл. 2. Зафіксовані події впродовж 1984–2016 рр.

Подія	Кількість	Відсоток
Суцільні рубки	238	82,07
Вибіркові рубки	29	10,00
Лісозаготівлі (суцільні + вибіркові рубки)	267	92,07
Природні порушення	23	7,93
Всього	290	100

Серед усіх агентів чітко виявлено домінуюче становище суцільних зрубів із значенням 238 разів, що становило 82,07 % від загальної кількості порушень. Поступові рубки з показником у 29 разів становили 10 % від усіх процесів порушення. Що стосується класу природних порушень, то їх було 22, тобто 7,59 %. Окрім цього, було зареєстровано негативний прояв лише одного гідрологічного процесу. У районі дослідження не виявлено пожеж і істотних вітровалів.

Результати загальних річних значень порушень та відповідних стандартних помилок продемонстровано на рис. 3. За показниками порушень у період з 1984 по 2016 рр. не було виявлено стабільно чіткого тренду. Порівнюючи фігури 3 (а) та (б), можна помітити, що протягом досліджуваного періоду існувало п'ять років, коли щорічна тривалість порушення перевищувала 1,25 %. Серед цих п'яти років у 2015 р. щорічний показник порушень досяг піку з відсотком $1,43^{\pm 0,33}$ %, після чого цей показник у 2013 р. становив $1,34^{\pm 0,32}$ %. Перш ніж відбулося значне зростання наприкінці досліджуваного періоду (2013–2015 рр.), на початку та всередині цього періоду розподілялися ще два високі пункти: у 1992 та 2007 рр. з відсотком $1,25^{\pm 0,31}$ % та $1,27^{\pm 0,31}$ % відповідно.

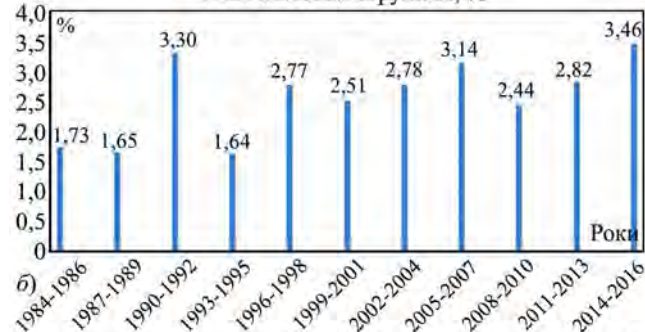
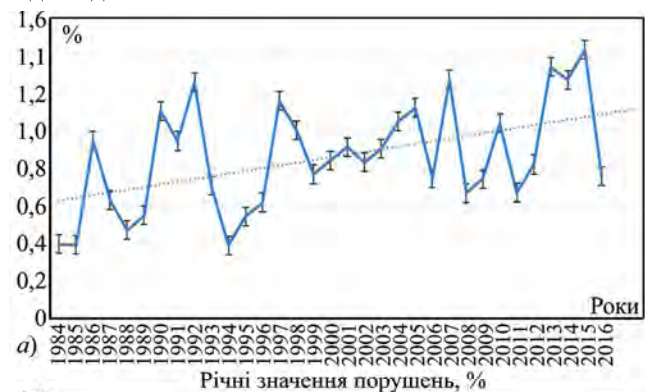


Рис. 3. Загальні показники порушень лісового вкриття в Українських Карпатах: а – річні рівні порушення з 1984 по 2016 рр.; б – частка порушень за кожні три роки

Між 1984–1994 рр. зафіксовано чотири роки, коли частка порушень становила не більше 0,5 %, а найнижчий показник у 1994 р. становив $0,39^{\pm 0,17}$ %. Більше половини періоду спостереження мали щорічну диспропорційну відзначку від 0,5–1,0 %, і десять років концентрувалися в інтервали між 0,75–1,0 %.

Наведені вище дані свідчать, що загальний рівень порушень в Українських Карпатах має тенденцію до зростання протягом усього періоду спостереження. При цьому піки, які з'явилися після 1990 і 2012 рр., були відчутними. Річні показники порушень надавали докладну, але складну для сприйняття інформацію, яка була спрощена та зрозуміла в лінійній схемі показників тривалості порушень за кожні три роки.

Природні порушення та лісозаготування. Варто зауважити, що лісові порушення, спричинені лісозаготуванням (суцільні та вибіркові рубки), становили 92,07 % від усіх виявлених порушень (див. табл. 2), тоді як лише 7,93 % порушень лісового вкриття було пов'язано з природними чинниками.

Окрім загальних коефіцієнтів порушень, було також розраховано річні показники порушень різних подій. Для порушень, зумовлених лісозаготуванням, проводився розрахунок річних показників, спричинених поєднанням класу вибіркових та суцільних рубок (рис. 4,а).

Коливання річного показника простежуємо протягом усього періоду дослідження. При чому у 2015 р. темпи порушень досягли найвищої точки – до $1,36^{\pm 0,32}$ %, а площа лісозаготівель у 1992 та 1997 рр. була приблизно однаковою з відсотком $1,10^{\pm 0,29}$ % та $1,08^{\pm 0,29}$ % відповідно. Найменшим видом порушень відзначено три періоди: 1985 та 1994 рр. з відсотком $0,39^{\pm 0,18}$ % та 2012 р. з відсотком $0,30^{\pm 0,15}$ %. Проте варто звернути увагу на те, що знімки за 2012 р. мали значну хмарність, що могло вплинути на низьке значення показника. Окрім цього, за вісім років, з 1999 по 2006 рр., рівень зрубного лісового вкриття відносно низький з відсотком від 0,45 % до 0,75 %, а між 1993 та 1996 рр. спостерігали навіть показник 0,39–0,62 %.

Як зазначали раніше, клас природних пошкоджень включав природні чинники, такі як: пошкодження комахами, хворобами, посуха або кислотні дощі. Встановлено 10 років без будь-яких виявлених випадків природних порушень з 1984 по 2016 рр. При цьому шість з них зосереджені між 1984–1989 рр. (рис. 4,б). З 1989 по 1992 рр. цей показник зріс до $0,16^{\pm 0,11}$ %, і зберігав майже такий же відсоток у 1993 р. Після розриву між 1994–1999 рр. темпи порушень знову зросли.



Рис. 4. Щорічні показники порушень від лісозаготівель, зокрема суцільні та вибіркові рубки (а), а також річні темпи природних порушень (б)

З 2001 по 2010 рр. площа лісу в регіоні досліджень зменшувалася щонайменше на 0,30 %. Пізніше втрата лісового вкриття швидко зростала і пік зростання у 2012 р. становив $0,52^{\pm 0,20}$ % від загального обсягу площі

лісу. Потім вона знизилася і зберігалася на низькому рівні до кінця періоду дослідження.

Загалом протягом досліджуваного періоду основним чинником впливу на зміну лісового вкриття була антропогенна діяльність, а природні порушення відбувалися рідко. Проте обидва види порушень (лісокористування та природні чинники) мали коливання протягом останніх 33 років і досягнули максимального значення після 2012 р. Більше того, 1995 та 2011 рр. були показними за двома чинниками, що впливають на пошкодження.

Природні розлади. Для порушень, спричинених природними чинниками, спостерігали три різні хвилі: на початку 1990-х, 2000-х і 2010-х років (рис. 4,б), а хвилеві гребні були щоразу вищими. Це виявлення є доказом для вивчення Сенфа і Сейдла (2017), які виявили синхронізацію динаміки природних порушень у субконтинентальних просторових масштабах у помірному поясі лісів Європи. У своєму дослідженні вони проаналізували річну кількість порушень для синхронізації в п'яти некерованих лісових ландшафтах з 1986 по 2016 р. Результати виявили синхронність тимчасових моделей трьох хвиль значних порушень наприкінці 1980-х, 1990-х та 2000-х років. Доведено, що головним чинником цієї синхронізації є кліматичні зміни в регіональному масштабі, особливо через посуху та вітер.

Висновки. Відповідно до результатів аналізу вибірки, середня лісистість для всієї досліджуваної території протягом 1984–2016 рр. становила 65,50 %. Більше половини досліджуваного періоду значення лісових порушень коливались між 0,5–1,0 %. Серед них було десять років, коли порушення були в межах 0,75–1,0 %. Загалом показники порушень в Українських Карпатах відзначаються істотними коливаннями. Причому значні помітні піки з'явилися після 1990 та 2012 рр. Більше того, антропогенні зміни, спричинені лісозаготівлями (зокрема суцільними та вибірковими рубаннями), що становило 92,07 % усіх порушень, тоді як лише 7,93 % порушень лісового намету було пов'язано з природними чинниками.

Аналіз піків коливань змін порушень лісового вкриття дає підстави вважати, що чинниками коливання щорічних показників, спричинених рубками, можуть бути як політичні чинники, пов'язані із зміною законодавства, із часом, так і з економічною ситуацією, спровокованою зменшенням і збільшенням попиту на ресурси деревини. Для природних порушень спостерігаємо три різні хвилі на початку 1990-х, 2000-х та 2010-х років, які демонструють синхронізацію динаміки природних порушень з іншими помірними лісами Європи в субконтинентальному просторовому масштабі.

Отже, результати здійсненого дослідження можна використати під час планування розвитку лісового господарства в Карпатах, при цьому потрібно приділяти більше уваги тренду зміни лісового вкриття, звертаючи особливу увагу на вразливості лісів до кліматичних змін і розглядаючи вплив нестабільної соціально-економічної ситуації на появу масштабних вирубок лісів, особливо у разі нестачі енергетичних ресурсів.

Результати виконаного дослідження свідчать про збільшення обсягів лісозаготівлі в Українських Карпатах за останні 30 років, середня величина яких поступово дедалі частіше перевищує показник вище 1,0 % вкритої лісом площі. Варто зауважити, що виявлені дані не свідчать про інтенсивне лісокористування щодо

оцінки всієї площі. Однак якщо взяти до уваги значні площі лісу, які виконують переважно екологічні природоохоронні функції і є виключеними з головного лісокористування, то тренд збільшення вирубування лісу може становити загрозу екологічній стабільності регіону. Особливо коли йдеться про значні порушення лісового вкриття, що зосереджені на певних ділянках території Карпат, які спостерігаємо з огляду на щоразу частіші застосування так званих суцільних санітарних рубок на значних (понад 10 га) територіях гірських лісів. При цьому варто зауважити, що виявлений тренд змін лісового вкриття потребує уваги як стосовно прогнозування вразливості лісів до кліматичних змін, так і щодо залежності чи, вірніше, впливу поточної нестабільної соціально-економічної ситуації на появу масштабних вирубок лісів в Україні.

Висновки цього дослідження можуть використати національні інститути влади під час стратегічного планування розвитку лісового господарства як у гірських умовах Українських Карпат, так і в національному та міжнародному масштабах.

Дослідження здійснено в межах реалізації проекту WWF в Україні "Лісова варта" за фінансової підтримки Міжнародного відділу Лісової служби США.

Перелік використаних джерел

- Alvarez-Añorve, M., Quesada, M., & De la Barrera, E. (2008). Remote sensing and plant functional groups detection: physiology, ecology and spectroscopy in tropical systems. *Hyperspectral Remote Sensing of Tropical and Sub-Tropical Forests*. London: Taylor and Francis Group, pp. 27-45.
- Banskota, A., Kayastha, N., Falkowski, M., et al. (2014). Forest monitoring using Landsat time-series data – a review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40, 362-384.
- Barford, C. C., Wofsy, S. C., Goulden, M. L., Munger, J. W., Pyle, E. H., Urbanski, S. P., et al. (2001). Factors controlling long- and short-term sequestration of atmospheric CO₂ in a mid-latitude forest. *Science*, 294, 1688–1691.
- Barton, I., Király, G., Czimmer, K., Hollaus, M., & Pfeifer, N. (2017). Treefall gap mapping using sentinel-2 images. *Forests*, 8(11), 426.
- Baumann, M., Kuemmerle, T., Elbakidze, M., Ozdogan, M., Radeloff, V. C., Keuler, N. S., Prishchepov, A. V., Kruhlov, I., & Hostert, P. (2011). Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine. *Land Use Policy* 28, 552-562.
- Castillo, J. A. A., Apan, A. A., Maraseni, T. N., & Salmo, S. G. (2017). Estimation and mapping of above-ground biomass of mangrove forests and their replacement land uses in the philippines using sentinel imagery. *Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 134, 70-85.
- CERI. (2001). The status of the Carpathians. In C. Carpathian Ecoregion Initiative (Ed.), WWF – Danube-Carpathian Programme. Vienna, Austria: Carpathian Ecoregion Initiative.
- Cohen, W. B., & Goward, S. N. (2004). Landsat's role in ecological applications of remote sensing. *Bioscience*, 54(6), 535-545.
- Cohen, W. B., Yang, Z. Q., & Kennedy, R. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly landsat time series: 2. timesync – tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2911-2924.
- Griffiths, P., Kuemmerle, T., Baumann, M., Radeloff, V. C., Abrudan, I. V., Lieskovsky, J., et al. (2014). Forest disturbances, forest recovery, and changes in forest types across the carpathian ecoregion from 1985 to 2010 based on landsat image composites. *Remote Sensing of Environment*, 151(8), 72-88.
- Kuemmerle, T., Chaskovskyy, O., Knorn, J., Radeloff, V. C., Kruhlov, I., Keeton, W. S., et al. (2009 b). Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007. *Remote Sensing of Environment*, 113(6), 1194-1207.

- Kuemmerle, T., Hostert, P., Radeloff, V. C., Perzanowski, K., & Kruhlov, I. (2007). Postsocialist forest disturbance in the carpathian border region of poland, slovakia, and ukraine. *Ecological Applications a Publication of the Ecological Society of America*, 17(5), 1279.
- Kuemmerle, T., Kozak, J., Radeloff, V. C., & Hostert, P. (2009 a). Differences in forest disturbance among land ownership types in Poland during and after socialism. *Journal of Land Use Science*, 4(1-2), 73-83.
- Kuemmerle, T., Olofsson, P., Chaskovskyy, O., Baumann, M., Ostapowicz, K., Woodcock, C. E., et al. (2011). Post-soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western ukraine. *Global Change Biology*, 17(3), 1335-1349.
- Schroeder, T. A., Healey, S. P., Moisen, G. G., et al. (2014). Improving estimates of forest disturbance by combining observations from Landsat time series with US Forest Service Forest Inventory and Analysis data. *Remote Sensing of Environment*, 154, 61-73.
- Schroeder, T. A., Schleeweis, K. G., Moisen, G. G., Toney, C., Cohen, W. B., Freeman, E. A., et al. (2017). Testing a Landsat-based approach for mapping disturbance causality in the United States forests. *Remote Sensing of Environment*, 195, 230-243.
- Senf, C., & Seidl, R. (2017). Natural disturbances are spatially diverse but temporally synchronized across temperate forest landscapes in europe. *Global Change Biology*, 24(3), 1201-1211. <https://doi.org/10.1111/gcb.13897>.
- Zhu, Z. (2017). Change detection using landsat time series: a review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 130.
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 144, 152-171.

O. H. Chaskovskyy¹, D. Yu. Karabchuk^{1,2}, A. P. Ivaniuk¹

¹ Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

² WWF International Danube-Carpathian Programme (WWF-DCP), Lviv, Ukraine

FOREST DISTURBANCE IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS FROM 1984 TO 2016

The goal of this study was to quantify forest disturbances (tree cover loss) in the Ukrainian Carpathians during the time period 1984-2016 and to distinguish the rate between natural and forest management types of disturbances (drivers). Landsat time series images together with TimeSync visualization tool were used to obtain sample-based estimates of annual disturbance rates. The research is based on 290 random plots. According to the sampling result, the average forest cover for the whole study area was 65.5 % during 1984- 2016. The study results suggest an annual disturbance rate between 0.5-1 % was observed for more than half of the study period and there were ten years with the interval of rates between 0.75-1 %, and ten years with the interval between 1 % and 1.5 %. The yearly disturbance rates demonstrate fluctuating (from 0.39^{±0.17} % in 1994 to 1.43^{±0.33} % in 2015), but the peaks appeared after 1990 and 2012 were noticeable in the Ukrainian Carpathians. Thus, the results of the research indicate a tendency to increase of the forest cover losses – in 10 years out of 32, the observed indicator exceeded the 1 % mark (10 years from 32, 4 of which occurred during 2010–2015). The forest disturbances caused by harvesting (including clear-cut and selective) made up to 92.07 % of the all disturbances, whereas just 7.93 % disturbed forest area was attributed to natural factors such as tree dying. For natural disturbances, three distinct waves were observed in the beginning of the 1990 s, the 2000 s and the 2010 s, which demonstrate a synchronization of natural disturbance dynamics with other temperate forests of Europe at subcontinental spatial scale. The conclusions suggest that the vulnerability of forests to climate change in the Carpathian mountains needs more attention, and the influence of current unstable social-economic situation on the forests in Ukraine should also be considered carefully.

Keywords: satellite images Landsat; TimeSync; forest disturbances; tree cover loss.