

Зміни лісового покриву Українських Карпат у період 1984–2016 років

- *Олег Часковський, Дмитро Карабчук*

Вступ

Ліси є не тільки джерелом значних економічних ресурсів для розвитку людського суспільства. Вони забезпечують незамінні для життя всього соціуму, особливо для місцевої громади, екосистемні послуги. Не менш важливими функціями, які виконують ліси, є формування локального кліматичного середовища, підтримання стабільних об'ємів чистої води, створення середовища існування дикої природи, продукування кисню й депонування вуглецю, рекреаційний потенціал і забезпечення недеревними продуктами тощо. Проте важливо пам'ятати, що наявність і якість лісових ресурсів – величини змінні, які значно залежать від стану та складу лісу (наприклад, породи дерев), його повноти, а передусім – від того, чи пошкоджений лісовий намет.

Пошкодження лісового намету визначають як великі імпульси відмирання дерев внаслідок таких подій, як пожежі, інвазії шкідників, сильні вітри та лісозаготівля. Найбільша небезпека пошкодження лісового намету полягає в тому, що це може призвести до порушення сталої динаміки змін лісового середовища, породного складу лісів, їх структури та функціональності. Крім того, знеліснення та відновлення лісів вважаються критичними механізмами переміщення вуглецю між атмосферою та поверхнею землі: в атмосферу вуглець, крім антропогенної діяльності, потрапляє шляхом окислення та розкладання деревини, і навпаки, лісовідновлення забезпечує забір вуглецю з атмосфери. Саме тому кількісне оцінювання лісових порушень додатне не лише для фіксування наявних лісових ресурсів, а й для визначення вмісту вуглецю та інших похідних від цього можливостей лісу. Сьогодні це набуває особливого значення з огляду на те, що ключові відповідальні особи в державі наразі мають змогу контролювати таку людську діяльність та прогнозувати її наслідки у масштабах країни.

Метою цього дослідження було виявити тренди та причини пошкоджень намету деревостанів у лісах (лісового покриву) Українських Карпат у період 1984–2016 років. Для вивчення взято часові ряди кожного із зазначених років на зображеннях, отриманих за допомогою супутникових знімків у межах проекту NASA Landsat із застосуванням засобу візуалізації TimeSync. У такий спосіб на основі статистичної вибірки із 2000 точок ідентифіковано 290 ділянок лісу із порушеннями лісового намету. На цих ділянках здійснено оцінку щорічних пошкоджень намету лісу, яка враховувала як природні, так і антропогенні чинники цих порушень.

Методика

Територія досліджень

Територією досліджень стали Українські Карпати, розташовані в межах чотирьох адміністративних одиниць: Львівської, Закарпатської, Івано-Франківської та Чернівецької областей (див. рис. 1). Для покриття супутниковими знімками території досліджень використано п'ять сцен супутникових знімків Landsat. Такі сцени нам знадобилися для створення карти лісів за кожним роком.



Рисунок 1. Регіон досліджень.

Для дослідження змін лісового покриття Українських Карпат у період із 1984 по 2016 рр. загалом вибрано 58 знімків супутника Landsat.

Вибрані супутникові знімки попередньо були опрацьовані на предмет радіометричного коригування. Задля підвищення точності визначення пошкоджень лісового покриття на знімках було усунуто сліди хмар і тіней від них.

З метою виявлення змін лісового намету спочатку було обрано тестові ділянки, які дозволили ідентифікувати «лісову маску». У такий спосіб була створена офіційна «лісова маска» на основі цифрових повидільних карт лісової інвентаризації, що дало змогу класифікувати й порівняти супутникові знімки з метою систематичного відбору.

Аналіз змін лісового покриття ґрунтувався на порівнянні «лісових масок» кожного відтинку часу.

Дані Landsat

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

Розміщення контрольних проб

Для оцінки показників лісових порушень в Українських Карпатах закладено додатково 2000 точок, визначених із використанням статистичного методу вибірки. А саме було здійснено просту випадкову вибірку для всієї зони дослідження, де просторовою одиницею був піксель Landsat. Перевагою застосування методу випадкової вибірки є отримання об'єктивної оцінки дисперсії.

Інтерпретація подій, пов'язаних із пошкодженнями лісового покриву

Процес збирання даних реалізовано здебільшого за допомогою програмного забезпечення TimeSync – інструмента візуалізації даних часових серій Landsat. Обґрунтованість підходу з використанням TimeSync для збирання високоточної інформації про порушення за допомогою візуальної інтерпретації часових рядів Landsat була підтверджена Schroeder та ін. авторами в 2014 році. У такий спосіб уже досліджено пошкодження лісового намету на території Сполучених Штатів Америки у період із 1985 по 2012 рр. (Cohen et al. 2016). Окрім TimeSync, використано зображення з дуже високою роздільною здатністю з Google Планета Земля (<http://earth.google.com>). З цією метою в Google Earth було імпортовано файл KMZ із контуром пікселів Landsat.

У цьому дослідженні переважно відображаються дані зі знімків супутника Landsat, зроблених у середині липня кожного року. У разі якщо якість даних (графічного чіпа) не могла забезпечити достовірну інтерпретацію (наприклад, у зв'язку із хмарним покриттям, неправильним оформленням, помилками сканування), знімок було замінено на інше зображення, датоване найближчим днем.

Для складання достовірного дизайну всі тестові ділянки спочатку базувалися на ділянці величиною в один піксель, однак при цьому розглядалося оточення досліджуваних пікселів та історія змін. Так вдалося зафіксувати як земляний покрив, так і різні типи землекористування, такі як «ліс» та «не ліс». Тип «ліс» описує заліснені території землі, які містять не менше 50% деревного покриття (намету деревостанів). До них відносяться листяні, хвойні чи змішані типи лісів та лісових водно-болотних угідь. Крім того, згідно з визначенням поняття «ліс», як його подає Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (ФАО), дерева в ньому повинні покривати не менш як 0,5 га площі та сягати щонайменше 20 м. Усі інші типи землекористування, такі як сільське господарство чи міська місцевість, були віднесені до типу «не ліс». Відмінність одних і тих самих точок при порівнянні часових рядів (мітки сегментів) слугувала для ідентифікації й опису процесів змін. У цьому дослідженні загалом виявлено вісім типів змін (див. табл. 1). Зафіксовано лише переважні типи землекористування / зміни землі, які займали понад 50% площі ділянки лісу.

Таблиця 1. Опис процесів змін, інтерпретованих TimeSync на лісових ділянках.

Процеси змін	Опис
Стабільний	Немає відчутних змін у даному сегменті.
Лісовідновлення	Збільшення лісового покриву через лісовідновлення чи заліснення.

Суцільні рубки	Понад 90% дерев, кущів та іншої рослинності зникли внаслідок антропогенної діяльності.
Вибіркові рубки	Часткова (до 90%) вибірка деревної рослинності.
Пожежі	Зміна лісового покриву у зв'язку із дією природних факторів.
Відмирання лісу	Зміна спектральних властивостей деревної рослинності внаслідок інвазії комах, хвороб чи кислотних дощів.
Вітровали	Спричинені вітром (ураганами, торнадо чи штормами) пошкодження.
Гідрологія	Зміна оригінального наземного покриву, спричинена затопленнями.

Під час інтерпретації процесів змін вдається виокремити деякі сигнали, які можуть бути використані для з'ясування перебігу подій.

Приміром, порушення, спричинені людською діяльністю, такі як *суцільні* та *вибіркові рубки*, зазвичай фіксуються впродовж короткого періоду – одного-двох років. Зокрема, якщо ділянка розташована на краю суцільної рубки і її частина повністю вирубана, то процес цього сегмента визначалася як «суцільна рубка», навіть якщо залишені дерева покривають понад 10% пробної площі. Характеристика міток сегментів у цьому разі відображається у вікні траєкторії як різке падіння деяких показників зображення, наприклад, Tasseled Cap wetness та NDVI. Щоб розрізнити два зазначених вище способи рубки, слід врахувати конкретне значення таких показників. Варто зазначити, що суцільні рубки на опрацьованих графіках зміни цих показників демонструють набагато крутіший градієнт, ніж вибіркові, здійснені в той самий час. Інші історичні зображення з високою роздільною здатністю, взяті з Google Планета Земля, підтвердили таку оцінку. Так, виявлено, що вибіркові рубки, які відбулися у 2013 році, підтверджуються у разі порівняння знайдених двох зображень із Google Планета Земля (за 22 серпня 2011 року та 27 вересня 2014 року (рис. 2)). З фото видно, що в 2014 році лісове покриття ще наявне, але його щільність нижча, ніж у 2011 році, що є типовим процесом зрідження за такого способу рубок.



Рисунок 2. Вибіркові рубки в 2013 році, за даними двох зображень від 22 серпня 2011 року та 27 вересня 2014 року, отриманих із Google Планета Земля.

Іншими причинами змін лісового покриву є природні події, такі як *пожежа* та *вітер*. Вони також фіксуються впродовж дуже короткого часу, але край такої ділянки є нерегулярним порівняно з площею зрубу, яку можна спостерігати на фрагменті зображення. Більше того, поширення вогню та дія вітру в лісі – набагато швидші процеси, ніж діяльність людини, а тому між двома знімками одного місяця можна виявити велику відмінність. Інші природні розлади, такі як *затоплення*, тривають довше, а показники у «вікні траєкторії» змінюються поступово, а не раптово.

Під час дослідження фіксувалися всі спостережувані порушення в описах сегментів, а рік порушення визначався як рік виявлення порушення. Після завершення інтерпретації дані в TimeSync були експортовані як файли значень, розділених комами, що містять таку інформацію, як: ідентифікатор площі, процес змін, початок/кінець змін та типи землекористування.

Аналіз даних та оцінка частотності пошкоджень

Аналіз вихідних даних із TimeSync здійснено в статистичній програмі R (<https://www.r-project.org>). Насамперед були перевірені як наземні покриття, так і наземний покрив, що дало змогу уникнути відсутності запису. Після цього було підраховано відсоток лісу в досліджуваній зоні та кількість пошкоджень кожного виду. Рівень пошкоджень визначався як відношення порушених лісів до загальної площі лісу. Річні показники пошкоджень розраховано за допомогою статистичного пакету «опитування» в R (<http://r-survey.r-forge.r-project.org/survey/>).

Окрім річних показників пошкоджень, із використанням аналогічних методів були розраховані дані для трьохрічних періодів із 1984-го по 2016 рік та для кожних п'яти років із 1986-го по 2015-й. Трьохрічний діапазон може дати чіткішу картину порівняно з річними даними, оскільки інформація про річні показники пошкоджень може бути розпорошеною та нерегулярною, що унеможлиблює фіксацію сезонних коливань. П'ятирічні дані можуть бути придатними для порівняння отриманого результату з даними інших досліджень, оскільки саме 5-річний інтервал часто береться до уваги в інших дослідженнях. Більше того, річні значення кожного чинника природного збурення, а також антропогенних впливів (включно з суцільними та вибірковими рубками) були розраховані для проведення більш комплексного аналізу порушень у досліджуваній області.

Результати

Загальні показники пошкоджень лісового покриву

Як показала вибірка, середня лісистість для всієї досліджуваної території в період 1984–2016 рр. становила 65,50%. На цій території зареєстровано 290 подій антропогенного та природного характеру за останніх 33 роки (табл. 2).

Таблиця 2. Зафіксовані події та їхній відсотковий внесок у пошкодження лісового покриву в період 1984–2016 рр.

Події	Кількість	%
Суцільні рубки	238	82,07
Вибіркові рубки	29	10
Природні порушення	22	7,59

Лісозаготівлі (суцільні + вибіркові рубки)	267	92,07
Природні (природні порушення + гідрологія)	23	7,93
Усього	290	100

Серед усіх агентів лісових пошкоджень чітко виявлено домінування суцільних зрубів зі значенням 238, що становило 82,07% від загальної кількості порушень. Другими за частотністю були вибіркові рубки з показником 29 і, відповідно, внеском у 10% до всіх процесів порушень. Природних порушень зафіксовано 22 випадки, що склало 7,59%. Крім того, було зареєстровано лише один гідрологічний процес. На території дослідження не було виявлено ні пожеж, ні суттєвих вітровалів.

Загальні річні значення пошкоджень та відповідних стандартних похибок представлені на рис. 3. Показники порушень продовжували суттєво коливатися в період із 1984 по 2016 рр. При порівнянні рисунків 3а та 3б можна помітити, що впродовж п'яти років у досліджуваному періоді річна тривалість порушення перевищувала 1,25%. Так, у 2015 р. річний показник порушень вийшов на пік зі значенням $1,43\% \pm 0,33\%$, після чого в 2013 р. склав $1,34\% \pm 0,32\%$. Перед серйозним зростанням значення показника наприкінці досліджуваного періоду (2013–2015 рр.) на початку та посередині цього періоду були помічені ще два стрибки: у 1992 та 2007 роках ($1,25\% \pm 0,31\%$ та $1,27\% \pm 0,31\%$ відповідно).



a)



б)

Рисунок 3. Загальні показники пошкодження лісового покриву Українських Карпат (а: річні рівні пошкоджень у період із 1984 по 2016 рр.; б: частка пошкоджень за кожних три роки).

Між 1984 та 1994 рр. було таких чотири роки, коли частка пошкоджень становила не більше 0,5%, а найнижчий показник у 1994 р. склав 0,39% \pm 0,17%. Більш ніж половину періоду спостереження щорічна частка пошкоджень перебувала на рівні між 0,5–1%, а десять років із них коливалася в інтервалі між 0,75% і 1%.

Отже, загальний рівень пошкоджень лісового покриву Українських Карпат підвищувався впродовж усього періоду спостережень. Але піки значень, зафіксовані після 1990-го і 2012 року, були досить відчутними. Річні показники порушень лісового намету надавали детальну, проте складну інформацію, яка була спрощена завдяки лінії тренду та їх сумуванням за кожних три роки, що зробило інтерпретування набагато зрозумілішим.

Природні та антропогенні чинники пошкодження лісового покриву

Зауважимо, що лісові порушення, спричинені лісокористуванням (суцільними та вибірковими рубками), становили 92,07% від усіх виявлених порушень (табл. 2), тоді як лише 7,93% пошкоджень лісового покриву були пов'язані з дією природних факторів.

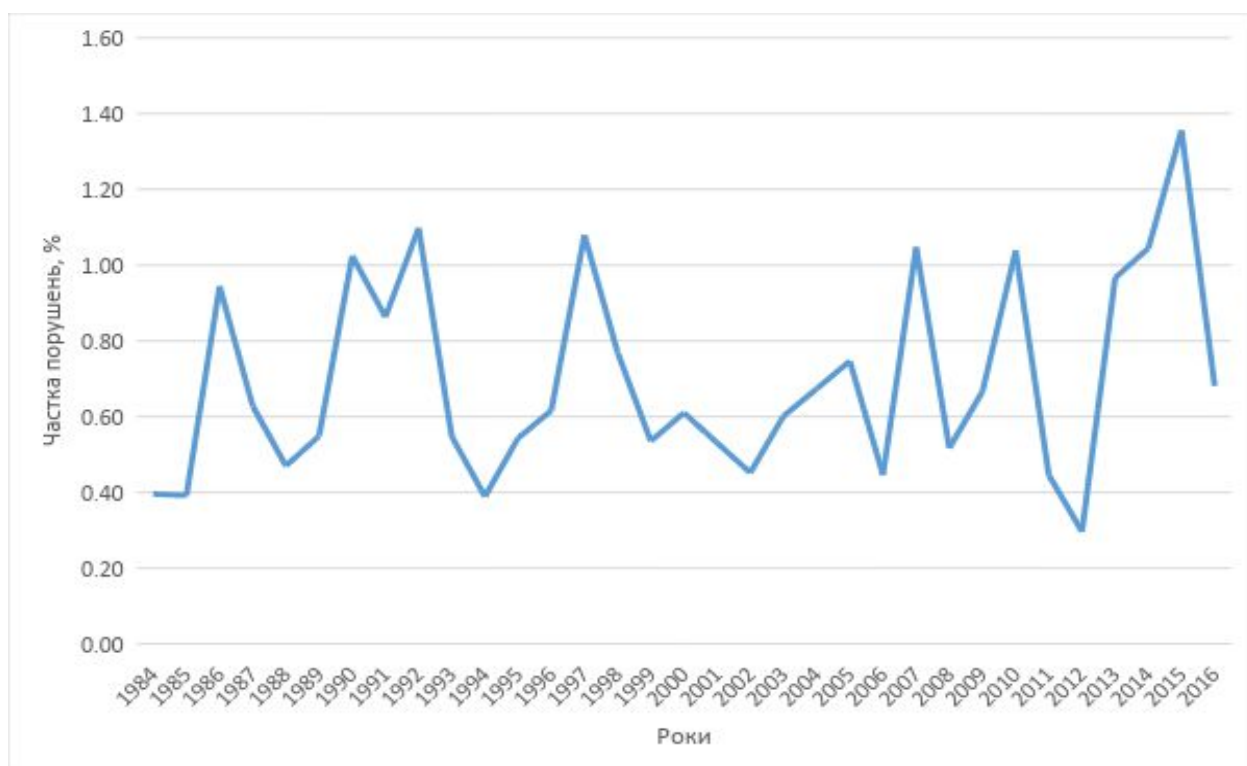
Крім загальних коефіцієнтів порушень, було розраховано річні показники пошкодження лісового покриву внаслідок різних подій. Для пошкоджень, зумовлених лісокористуванням, здійснювався розрахунок річних показників шляхом поєднання класів вибірових та суцільних рубок (рис. 4а).

Так, коливання річного показника фіксуються впродовж усього періоду дослідження. Показово, що в 2015 році темпи порушень досягли найвищої точки (до 1,36% \pm 0,32%), а площа лісозаготівель у 1992 та 1997 роках була приблизно однаковою

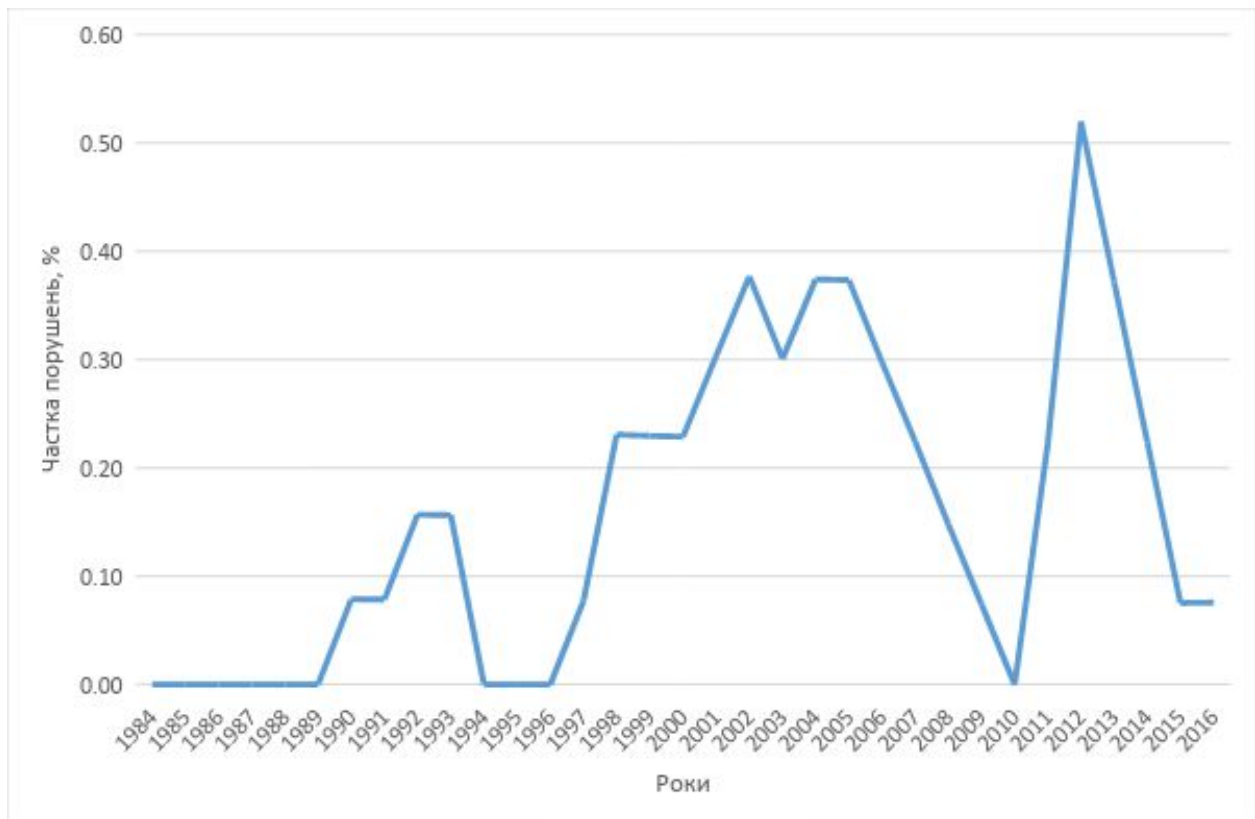
(1,10% ± 0,29% та 1,08% ± 0,29% відповідно). Можна було спостерігати три очевидних спади: у 1985 та 1994 роках (0,39% ± 0,18%), а також у 2012 році зафіксоване найнижче значення – 0,30% ± 0,15%. Однак тут слід звернути увагу на те, що на знімках за 2012 рік помічена значна хмарність, що могло призвести до заниження значення цього показника. Крім того, за вісім років – із 1999-го по 2006 рік – спостережено відносно низький рівень зрубаного лісового покриву (від 0,45% до 0,75%), а між 1993-м та 1996 роком темпи порушень не перевищували 0,39–0,62%.

Що стосується змін покриву, пов'язаних із гідрологічними чинниками, то було виявлено лише один процес, який відбувся в 2001 році.

Як зазначено вище, клас природних агентів включає такі природні фактори, як пошкодження комахами, хворобами, посуха або кислотні дощі. Загалом, з 1984 по 2016 рік, нараховано 10 років без будь-яких виявлених випадків природних порушень і шість з них зосереджені між 1984–1989 роками (рис. 46). З 1989-го по 1992 рік цей показник зріс до 0,16% ± 0,11%, а після спаду між 1994–1999 рр. темпи пошкоджень лісового покриву знову зросли.



а)



б)

Рисунок 4. Річні показники лісових порушень внаслідок лісозаготівель включно із суцільними й вибірковими рубками (а), а також річні темпи природних порушень (б).

У період із 2001 по 2006 рр. частка природних порушень лісу була на рівні близько на 0,30% за рік. Після цього вона продовжувала поступово скорочуватися аж до нуля у 2010 р. Пізніше втрата лісового покриву пришвидшилася, а її пікове значення в 2012 р. склало $0,52\% \pm 0,20\%$ загального обсягу площі лісу. Надалі темпи втрати площі лісу завдяки природним порушенням знизилися і зберігалися на такому рівні до кінця періоду дослідження.

У цілому на досліджуваній території у період вивчення пошкоджень лісового покриву домінувала антропогенна діяльність, при цьому природні порушення відбувалися рідко. Проте показники обидвох видів порушень лісового намету (лісокористування та природні чинники) коливалися в останніх 33 роки, сягнувши максимального значення після 2012 року. Більше того, 1995-й і 2011 рік були показовими з точки зору дії обидвох факторів.

Спостерігалось три хвилі активації порушень, зумовлених природними чинниками: на початку 1990-х, 2000-х і 2010-х років (рис. 4б), а гребені цих хвиль дедалі зростали. Це спостереження вкотре доводить теорію Сенфа і Сейдла (2017), які виявили синхронність динаміки природних порушень у субконтинентальних просторових масштабах у помірному лісі Європи. Ці дослідники проаналізували річні значення порушень у п'яти некерованих лісових ландшафтах у період із 1986 по 2016 рр. Результати аналізу виявили синхронність тимчасових моделей, як-от три хвилі збільшення порушень – наприкінці 1980-х, 1990-х та 2000-х років. Головною причиною такої синхронізації можуть бути кліматичні зміни в регіональному масштабі, особливо через посуху та вітер.

Висновки

Здійснена під час дослідження вибірка показала, що середня лісистість в Українських Карпатах у період 1984–2016 рр. становила 65,50%. Упродовж більшої половини періоду, взятого для вивчення, значення пошкодження лісових наметів коливалися між 0,5% і 1% (10 років із досліджуваних порушення становили 0,75–1%). Піки значень зафіксовані після 1990-го та 2012 року. Більше того, антропогенні чинники, як-от лісозаготівля (у тому числі суцільні та вибіркові рубки) зумовили 92,07% всіх порушень, тоді як лише 7,93% пошкоджень лісового намету були пов'язані з дією природних факторів.

Аналіз коливань значень пошкоджень лісового покриву, а також піків змін дав підстави стверджувати, що чинниками таких серйозних коливань показників, зокрема значень лісових порушень у зв'язку із рубками, є, по-перше, політична ситуація в державі, а відтак відповідні законодавчі зміни, а по-друге, економічна ситуація, яка впливає на зменшення або збільшення попиту на деревину. Під час дослідження виявлено три хвилі активації порушень, зумовлених природними чинниками: на початку 1990-х, 2000-х і 2010-х років, що показує синхронність динаміки природних порушень в Українських Карпатах і в інших помірних лісах Європи в субконтинентальному просторовому масштабі.

Отже, результати здійсненого дослідження можуть бути використані під час планування розвитку лісового господарства у Карпатах. При цьому слід звернути особливу увагу на тренд зміни лісового покриву, зображений на рис. 3а. Тож варто пам'ятати про вразливість лісів до кліматичних змін і не випускати з поля зору вплив економічно-політичних чинників на активацію масштабних рубок лісів, особливо у разі нестачі енергетичних ресурсів.

Результати здійсненого дослідження засвідчують збільшення обсягів лісозаготівлі в Українських Карпатах за останніх 30 років. Її середня річна величина поступово зростає, вже перевищивши показник у 1% вкритої лісом площі. Підкреслимо, що виявлені дані не свідчать про сильно інтенсивне лісокористування з точки зору оцінки всієї площі. Однак якщо взяти до уваги значні площі лісу, які виконують переважно природоохоронні функції гірського ландшафту і є, по суті, виключеними з головного лісокористування, то збереження тренду до активного вирубування лісу може становити загрозу екологічній стабільності регіону. Особливо якщо йдеться про значні пошкодження лісового покриву на певних ділянках території Карпат у зв'язку із тим, що все частіше проводяться так звані суцільні санітарні рубки на значних (понад 10 га) територіях гірського лісу.

Висновки цього дослідження можуть також бути використані ключовими національними інститутами влади під час стратегічного планування розвитку лісового господарства як у гірських лісах Українських Карпат, так і в національному та міжнародному масштабах.

Дослідження здійснене у межах реалізації проекту WWF Україна «Лісова варта» за фінансової підтримки Міжнародного відділу Лісової служби США.