



М. С. Мацала, В. В. Миронюк, К. Р. Федина, А. М. Білоус

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

ЗМІНИ ЛАНДШАФТІВ У ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ПІСЛЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ 2020 РОКУ

Розглянуто ландшафтні зміни у Чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ) після природних порушень. З кожним роком площа вкритих лісом земель на цій території зростає. За умови обмеженості доступу до ЧЗВ застосування даних дистанційного зондування Землі є одним з ефективних шляхів вивчення видозмін ландшафтів, спричинених природними порушеннями. Застосовано методи просторової екології та класифікований наземний покрив до та після пожеж (на підставі спектрально вирівнених даних супутників Landsat). Використано серію ландшафтних метрик, які характеризують параметри ландшафтного різноманіття та фрагментації цільового класу наземного покриву (зокрема – лісового покриву). Катастрофічні пожежі 2020 р. глибоко вплинули на фрагментацію лісового покриву по всій території ЧЗВ. Найбільшою зміною зазнала середня площа серцевинної частини ділянки класу "ліс" на згарищах, а саме її зменшення (на 65 %) та відповідно збільшилась кількість узлісь (на третину). Виявлено, що ці драматичні зміни у межах екосистем, пройдених вогнем у 2020 р., мали істотний ефект і на рівні усієї ЧЗВ (зокрема, зменшення середньої площі серцевинної ділянки лісового покриву на 20 %). Дослідження показало, що залежно від попереднього типу наземного покриву можливе збільшення або зниження значень відповідного індексу ландшафтного біорізноманіття. Зокрема, повторне горіння ділянок згарищ 2015 р., деревна рослинність на яких почала поновлюватись, призвело до локального зниження значень показника ландшафтного різноманіття. Проте виявлено, що на рівні усієї ЧЗВ значення індексів різноманіття ландшафтів (і за формулою Шеннона, і за формулою Симпсона) збільшились після пожежі 2020 року. До цього призвела нова мозаїка ландшафтів із деревним, чагарниковим, трав'яним покривом і згарищами. Застосований підхід дає змогу оцінити просторові зміни на рівні ландшафту, доповнюючи знання про ліс та навколишнє середовище як взаємопов'язану систему.

Ключові слова: нормалізований індекс згарищ; дистанційне зондування Землі; часові серії Landsat; фрагментація лісового покриву.

Вступ / Introduction

Чорнобильська зона відчуження (ЧЗВ), утворена після аварії на однойменній атомній електростанції у 1986 р. на площі 2600 км², є унікальним об'єктом із суворим обмеженням доступу людей та господарської діяльності [2]. Значне радіоактивне забруднення ґрунтів, водойм та рослинної біомаси у ЧЗВ спричинило заборону на проведення рубок головного користування у місцевих лісах, також на сільськогосподарську діяльність, а заходи з формування та оздоровлення лісів у ЧЗВ були обмежені за обсягами. Катастрофічна пожежа 1992 р. на південному сході ЧЗВ зумовила потребу протипожежного впорядкування ЧЗВ: у наступні роки було прокладено мережу протипожежних розривів. Однак обмеженість протипожежної інфраструктури, відсутність можливості проконтролювати поширення вогню із осеред-

ків займає за межами ЧЗВ (передусім через нелегальне спалювання рослинної біомаси на полях їхніми власниками), а також нагромадження горючих матеріалів у лісах спричинили катастрофічні пожежі 2015 та 2020 років [6].

Водночас, останні дослідження показують, що площа лісового покриву у ЧЗВ продовжує зростати (з 41 % від площі ЧЗВ у 1986 р. до 59 % у 2020 р., після пожеж) [3]. Основним чинником цього збільшення є природні сукцесії на покинутих сільськогосподарських полях. Ліси ЧЗВ змінюються на ландшафтному рівні в умовах складної мозаїки деревної, трав'яної та мішаної рослинності штучного та природного походження. Актуальним лишається дослідження цих трансформацій в умовах глобальних змін клімату, оскільки пожежі у ЧЗВ можуть спричинити значні емісії в атмосферу: як вуглецю, так і депонованих штучних радіонуклідів. Одним з

Інформація про авторів:

Мацала Максим Станіславович, д-р філософії, мол. наук. співробітник, кафедра таксації лісу та лісового менеджменту.

Email: matsala@nubip.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4184-5037>

Миронюк Віктор Валентинович, д-р с.-г. наук, професор, кафедра таксації лісу та лісового менеджменту.

Email: vmironiuk@nubip.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5961-300X>

Федина Катерина Романівна, аспірант, мол. наук. співробітник, кафедра таксації лісу та лісового менеджменту.

Email: fedyana@it.nubip.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-2485-2908>

Білоус Андрій Михайлович, д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри таксації лісу та лісового менеджменту.

Email: bilous@nubip.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-7589-4307>

Цитування за ДСТУ: Мацала М. С., Миронюк В. В., Федина К. Р., Білоус А. М. Зміни ландшафтів у Чорнобильській зоні відчуження після лісових пожеж 2022 року. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, т. 32, № 6. С. 32–37.

Citation APA: Matsala, M. S., Myroniuk, V. V., Fedyna, K. R., & Bilous, A. M. (2022). Landscape-scale changes in Chornobyl Exclusion Zone after 2022 forest wildfires. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(6), 32–37. <https://doi.org/10.36930/40320605>

ефективних підходів вивчення змін ландшафтів після природних порушень є застосування даних дистанційного зондування Землі [4].

Об'єкт дослідження – ландшафтна мозаїка лісів та інших екосистем Чорнобильської зони відчуження.

Предмет дослідження – зміни на ландшафтному рівні у ЧЗВ після катастрофічних пожеж 2020 року.

Мета дослідження – встановити вплив пожеж 2020 р. на ландшафтну структуру ЧЗВ для точнішого прогнозування динаміки лісів в умовах змін клімату.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження: визначити зміни наземного покриву після пожеж 2020 р. у ЧЗВ; проаналізувати динаміку фрагментацію лісового покриву та ландшафтного різноманіття на ділянках, пройдених пожежами 2020 року.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Горимості лісів ЧЗВ, наслідкам пожеж для довкілля та людей, а також імітаційному моделюванню майбутніх пожеж присвячено низку наукових публікацій. Автори погоджуються з фактом, що постійне нагромадження горючих матеріалів у ЧЗВ внаслідок переважної відсутності лісогосподарських заходів та ефективної, оновленої мережі протипожежних розривів сприяє перетворенню окремих загорянь у катастрофічні, зокрема верхові, пожежі. Швидкому поширенню вогню сприяють захарашені згарища від попередніх пожеж та молода деревна рослинність на місці покинутих сільськогосподарських угідь.

Іншим чинником катастрофічних лісових пожеж у ЧЗВ є низька екосистемна стійкість місцевих лісів. Більшість із них представлені одновіковими монокультурами сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), створеними за радянської парадигми лісовідновлення зрубів та лісорозведення. За умов глобальних змін клімату, негативного впливу людини, що посилюється, а також поширення інвазивних видів такі насадження постійно переживають абіотичний стрес та, зрештою, високий рівень ослаблення та відмирання дерев до та після природних порушень. Це, зокрема, сприяє нагромадженню горючих матеріалів у місцевих лісах.

Негативним явищем змін наземного покриву на рівні ландшафтів є фрагментація лісового покриву. Воно проявляється у зменшенні середньої площі ділянки лісу (масиву густого деревного полог) у ландшафті, а також у збільшенні площі узлісь. Зменшення середньої площі ділянки лісу, наприклад, негативно впливає на функціонування середовищ існування птахів і ссавців. Додатковий негативний ефект має зменшення середньої площі ділянки лісових насаджень конкретного складу (за деревними видами). В узліссях відбувається зміна світлового режиму та мікроклімату, як наслідок – ослаблення та відмирання деревних рослин.

Для дослідження фрагментації лісового покриву найчастіше використовують дані дистанційного зондування Землі. Часові серії супутникових знімків дають змогу класифікувати наземний покрив із високою точністю. Додаткову точність аналізу змін наземного покриву внаслідок природних порушень, таких як пожежі, забезпечують алгоритми темпоральної сегментації Land-Trendr або Continuous Change Detection and Classification (CCDC) для супутникових знімків Landsat. Ці алгоритми дають змогу отримувати спектрально згладжені дані для кожного пікселя растрового зображення для

значного проміжку часу (десятьки років). Ця перевага зменшить кількість "шуму" (тобто помилок) під час класифікації наземного покриву після пожеж. Результатом є точні дискретні карти наземного покриву, що є основним джерелом даних для аналізу фрагментації та інших ландшафтних змін.

Матеріали та методи дослідження. Згідно з прес-релізом Регіонального Східноєвропейського Центру Моніторингу Пожеж, який базувався, зокрема, на супутниковому моніторингу західної частини ЧЗВ з допомогою даних Landsat, Sentinel-2 та Planet Scope, перша весняна пожежа у 2020 р. виникла поряд з Древлянським природним заповідником і лише дуже побіжно вплинула на екосистеми в межах самої ЧЗВ. Проте уже за кілька днів у цій самій місцевості почалась катастрофічна пожежа, яка перекинулася на територію ЧЗВ. У межах однієї декади (з 8 квітня 2020 р.), уже 10-кілометрова зона була вражена сильним вогнем. Усі ділянки термальних аномалій за спектрометром MODIS для квітня 2020 р. показано на рис. 1.

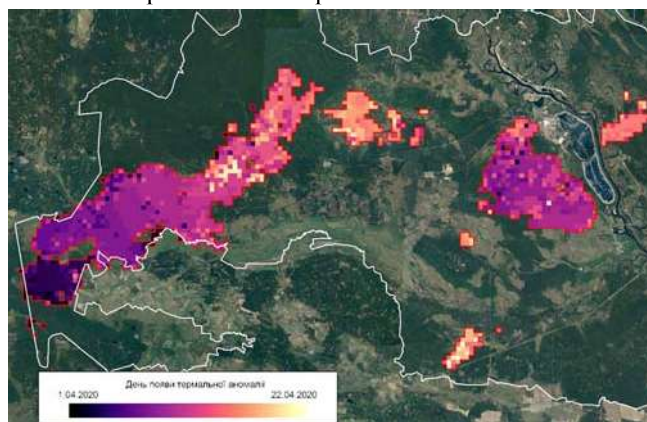


Рис. 1. Часовий розподіл термальних аномалій за спектрометром MODIS у квітні 2020 р. Межу ЧЗВ позначено лінією білого кольору / Temporal distribution of thermal anomalies recorded by MODIS spectrometer in April 2020. White line depicts CEZ border

Ця катастрофічна лісова пожежа також розвивалась на сильно забруднених ділянках, включаючи райони поряд із "Рудим лісом", насадження у якому загинули від прямої дії гострого іонізуючого випромінювання у 1986 р., потім були зрубані, але при цьому пізніше нові насадження там уже горіли за останні десятиліття. Варто звернути увагу, що пікселі з днями появи термальних аномалій (див. рис. 1) усереднені, тобто, якщо в одному й тому ж пікселі 500×500 м фіксувалась термальна аномалія, наприклад, 3 і 5 квітня 2020 р., то (див. рис. 1) колір відповідатиме середньому значенню, тобто 4 квітня 2020 року. Водночас, ця візуалізація дає підстави припустити, яку територію було пройдено вогнем на межі березня і квітня 2020 р. (найтемніші пікселі на крайньому південному заході ЧЗВ), у перший тиждень квітня (темно-фіолетові пікселі), як вогонь далі рухався на схід і пожежа виникла у 10-кілометровій зоні (пікселі пурпурового і малинового кольорів), як ділянки горіли до 22 квітня (помаранчеві кольори). Ці ділянки векторизовано для отримання маски пожеж 2020 року.

Дискретні карти наземного покриву (станом на 2019 р. – до пожежі, та на 2020 р. – після весняних пожеж) взято із дослідження Matsala et al. 2021. Сім класів наземного покриву змодельовано за допомогою класифікаційної моделі RandomForest на підставі спектраль-

них даних медіанних річних мозаїк супутникових знімків Landsat. Дані було темпорально вирівняно за допомогою алгоритму LandTrendr. Класи наземного покриття охоплюють "ліс", "зарості" (тут – незімкнуті молодняки, рідколісся, чагарники), "травостої" (лучна, степова та інша природна трав'яна рослинність), "водойми", "згарища", "забудову" та "грунтову поверхню без рослинності".

Для кожного такого дискретного класу можна створити окремі растрові маски, для яких і будуть рахуватись певні метрики ландшафтного різноманіття. Ці метрики є базисом у дослідженнях ландшафтно-екології, для їхнього обрахунку використовуються просторові залежності між розташуванням пікселів та їхніх груп, а також важливі функції з теорії інформації. Базовим програмним забезпеченням для цих обрахунків раніше була програма FRAGSTATS, яка нині імплементована у вигляді бібліотеки 'landscapemetrics' мови програмування R.

У бібліотеці 'landscapemetrics' можливо розрахувати низку ландшафтних метрик на рівні всього растру наземного покриття, на рівні частин растру у межах окремих точок або полігонів, або створити растр ландшафтно-метрики на підставі алгоритму ковзного вікна. У цьому дослідженні розраховано зміни низки ландшафтних метрик внаслідок пожежі 2020 р.:

- площа ділянки (patch area) – площа ділянки (клаптика, групи пікселів), пікселі у якій поєднані між собою за "правилом чотирьох" (пікселі межують між собою по горизонталі чи вертикалі) або "правилом восьми" (пікселі поєднані в усіх 8 напрямках, включно і по діагоналі) і становлять один певний клас наземного покриття;
- серцевинна площа (core area) ділянки (patch) – внутрішня частина ділянки (клаптика, групи пікселів), яка не межує ні з якими ділянками інших класів наземного покриття (можна порахувати суму, середнє, стандартне відхилення площі);
- кількість ділянок (number of patches);
- щільність меж (країв, edge density) ділянок – відношення суми усіх меж ділянок (тобто пікселів ділянок, які не входять до серцевинної частини ділянок) певного класу до площі растру;
- індекси форми, відношення периметра до площі ділянок – метрики, що характеризують форми ділянок, наскільки вона відповідає різним геометричним фігурам;
- індекси різноманіття та схожості – метрики з теорії інформації, які вказують на наявність чи відсутність ландшафтного різноманіття на тій чи іншій території.

Зазвичай, ці ландшафтні метрики істотно змінюються у разі катастрофічних природних порушень, зокрема пожеж, які призводять до загибелі дерев, втрат лісового

покриву тощо. Класи наземного покриття "ліс" та "зарості" у цьому разі переходять до класів "згарища", рідше – "травостій" або "грунтова поверхня без рослинності". Отже, у розрізі перерахованих вище показників, можна очікувати, що ділянки лісового покриття (групи пікселів класу "ліс", з'єднані між собою за "правилом чотирьох" або "правилом восьми") стануть меншими за розміром, зменшиться середня площа їхньої серцевинної частини, натомість збільшиться щільність крайових (межових) частин ділянок, тобто для лісу – узлісь. Замість щільного лісового покриття з'явиться мозаїка ділянок класів "ліс", "зарості", "згарища" і "травостої", що підвищить значення індексів ландшафтного різноманіття та знизить – індексів просторової однорідності.

У межах векторної полігональної маски термальних аномалій (пожеж квітня 2020 р.) виокремлено растри змодельованого наземного покриття. На підставі маски класу наземного покриття "ліс" пораховано середню площу серцевинної частини (mean core area) кожної ділянки цього класу. Ділянки (patches) розраховано за "правилом восьми", тобто якщо пікселі одного класу були суміжними по горизонталі, вертикалі чи діагоналі, то вважалося, що вони є приналежними до однієї ділянки. Середню площу серцевинної частини ділянок класу "ліс" розраховували окремо для растрів 2019 і 2020 років.

На відміну від показника середньої площі серцевинної частини ділянки класу "ліс", індекс просторового різноманіття Шеннона на підставі усіх семи класів наземного покриття подано у вигляді растру на підставі алгоритму ковзного вікна. Ковзне вікно – це матриця визначеного розміру (у пікселях), яка виступає у ролі фільтра по просторовій "поверхні" цільового растру. Індекс різноманіття Шеннона розраховується у межах такого фільтра, який "рухається", або "ковзає" із верхнього лівого кута цільового растру із кроком в один піксель.

Для візуалізації отриманих результатів додатково використано геопросторову базу повидільних даних лісової таксації для ЧЗВ (впорядкування за 2016 р., після катастрофічних пожеж 2015 р.) у межах згарищ 2020 р.

Результати та їхнє обговорення / Research results and their discussion

Загальну характеристику змін за ландшафтними показниками на рівні векторної маски термальних аномалій та усієї ЧЗВ наведено у таблиці.

Таблиця. Зміни ландшафтних метрик у ЧЗВ внаслідок пожеж 2020 р. / Change of landscape metrics in CEZ after 2020 wildfires

Клас наземного покриття	У межах векторної маски термальних аномалій			У межах всієї ЧЗВ		
	2019 р.	2020 р.	%	2019 р.	2020 р.	%
Модифікований індекс різноманіття Симпсона	1,030	1,320	+28	0,859	0,930	+8
Модифікований індекс рівномірності Симпсона	0,530	0,677	+28	0,442	0,478	+8
Кількість ділянок класу "ліс"	2821	4186	+48	15187	17256	+14
Індекс різноманіття Шеннона	1,17	1,37	+17	1,13	1,22	+8
Індекс рівномірності Шеннона	0,601	0,705	+17	0,579	0,629	+9
Загальна площа узлісь (країв ділянок "лісу"), га	259	341	+32	1743	1956	+12
Індекс з'єднаності ландшафту	52,2	43,7	-16	55,0	50,9	-7
Середня площа серцевинної частини ділянки класу "ліс"	4,69	1,66	-65	8,25	6,63	-20

Відповідно до даних таблиці, пожежі 2020 р. істотно вплинули на фрагментацію лісового покриття як у межах ландшафтів, пройдених вогнем (у межах векторної маски термальних аномалій), так і на рівні всієї ЧЗВ. Серед найбільш драматичних змін – зменшення на 65 % середньої площі серцевинної частини ділянки класу

"ліс" у межах "маски пожеж" та відповідне зменшення на 20 % у межах всіх лісів ЧЗВ. Це є одним із головних показників мозаїчності та неоднорідності лісового покриття, що має прямий зв'язок і переважно негативні ефекти на функціонування і біорізноманіття екосистем. З цим прямо пов'язане і збільшення загальної площі узлісь (площі ділянок класу "ліс" за межами їхніх серце-

винних частин) на 32 % у межах "маски пожеж" та на 12 % – на території усієї ЧЗВ. Відповідно зменшилися індекси з'єднаності ландшафту і збільшилися значення індексів ландшафтного різноманіття за Шенноном та Симпсоном. Дещо збільшилися і значення індексів просторової рівномірності за Шенноном й Симпсоном. Цей індекс може набувати значення від 0 до 1, де нуль показує, що ландшафт охоплений лише одним класом наземного покриву, а одиниця – класи наземного покриву за площею у ландшафті розподілені рівномірно. Отже, збільшення площ класу "згарищ" та зменшення площ класу "ліс" призвело до більшої просторової рівномірності.

На рис. 2 показано зміну площі серцевинної частини ділянки класу "ліс" для двох груп лісових насаджень. Це ділянки на північний схід від згарищ 2015 р., а також група лісотаксаційних виділів у межах 10-кілометрової зони (див. рис. 2).

Групу насаджень із 10-кілометрової зони представлено у верхній частині (див. рис. 2), а групу насаджень на північний схід від згарищ 2015 р. – у нижній частині. Одиницями виміру тут слугують пікселі супутника Landsat, тобто полігони темно-зеленого кольору вказують на виділи із середньою площею серцевинної частини ділянки класу "ліс" від 2,7 пікселя, або 2430 м². Для усіх виділів із вибірки з бази даних лісовпорядкування у межах згарищ 2020 р., найбільшим таким значенням для одного виділу було 40 пікселів (тобто 3,6 га) у 2019 р., тоді як у 2020 р. – рівно вдвічі менше, при цьому площі лісотаксаційних виділів лишались незмінними. Візуалізація на рис. 2 чітко показує, наскільки значний вплив на фрагментацію лісового покриву справляють катастрофічні пожежі, хоча при цьому не усі дерева у лісових насадженнях гинуть.

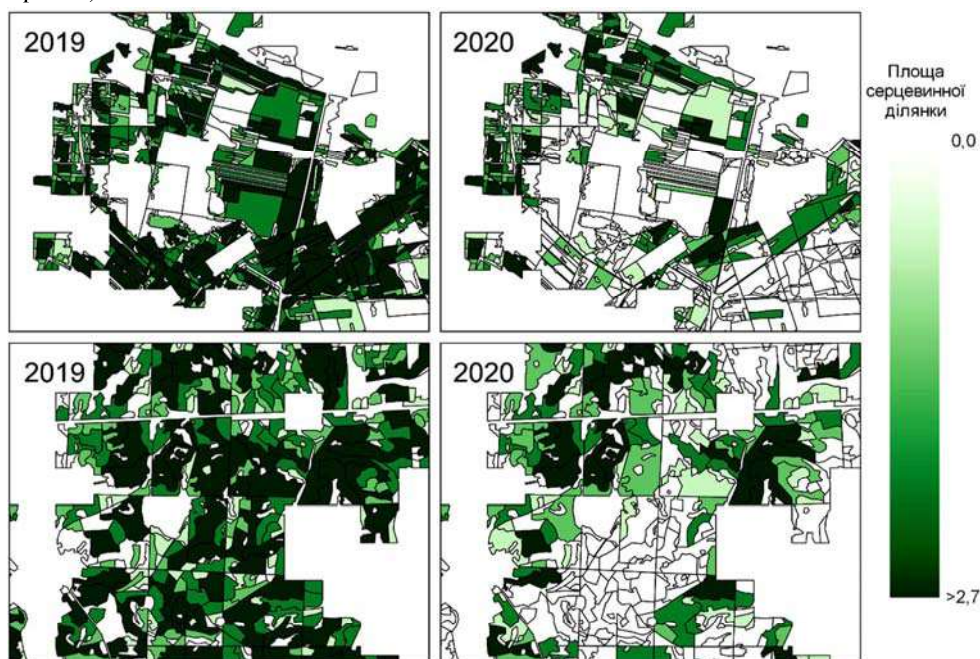


Рис. 2. Порівняння змін середньої площі серцевинної частини ділянки класу "ліс" між 2019 (до пожежі) та 2020 (після пожежі) роками / Comparison of changing mean core area values of "forest" land cover class between 2019 (prior to wildfires) and 2020 (after wildfires)

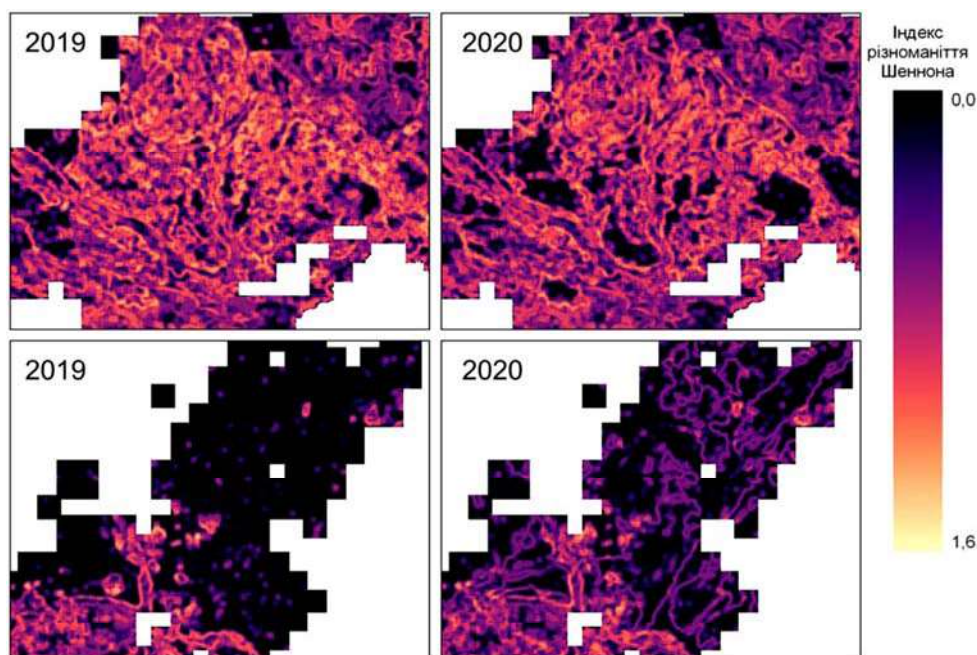


Рис. 3. Динаміка індексу ландшафтного різноманіття Шеннона для деяких груп лісових насаджень / Changes of Shannon landscape diversity index values for specific groups of forest stands

На рис. 3, знизу, знову показано непорушені (до 2020 р.) ділянки на північний схід від згарищ 2015 р., а зверху – уже ці згарища 2015 р., які було пройдено вогнем у 2020 р. знову. Збільшення значень просторового різноманіття внаслідок пожеж у попередньо непорушених лісах (нижня частина рис. 3) є очевидним явищем. Водночас, у верхній частині (див. рис. 3) можна спостерігати декілька ділянок, де значення індексу Шеннона істотно зменшились. Це можна пояснити тим, що за 5 років – з моменту попередньої пожежі – ці згарища у дискретному сенсі растрової карти вкрились складною, неоднорідною мозаїкою різного наземного покриву. До ділянок "згарищ" та "лісу" (який був слабо пошкоджений вогнем у 2015 р.) за 5 років додалось більше пікселів "заростей" та "травостою", що показує відновлення деревостанів, спектральне наповнення інфрачервоного діапазону у цих пікселях за рахунок нової молоді деревно-чагарникової та трав'яної рослинності, що призводило до конвертації пікселів класу "згарища" в інші напередодні 2020 року. У квітні 2020 р. ці ділянки сильно горіли і тому знову стали класом наземного покриву "згарища", що і зменшило значення просторового різноманіття для них. Водночас, більш мозаїчні ландшафти – через поєднання деревного покриву та молоді рослинності, що відновлюється на згарищах – можуть мати вищу пожежну небезпеку.

Обговорення результатів дослідження. Збільшення мозаїчності ландшафтів ЧЗВ та фрагментації лісового покриву є наслідком не тільки природних порушень (таких, як пожежі 2020 р.), а й антропогенної модифікації наземного покриву. Зокрема, пожежі та діяльність людини (рубання лісів для створення пальмових плантацій або ведення сільського господарства) спричиняють фрагментацію тропічних лісів [7]. У помірних широтах основним чинником може бути урбанізація [5]. В усіх випадках збільшення площі та кількості узлісь, а також зменшення площі серцевинних ділянок лісів, розглядають як більш негативний сценарій для функціонування екосистем та біорізноманіття [5]. Однак можливі і зворотні сценарії [4, 8]. Найчастіше просторове розрізнення знімків Landsat (30 м) та Sentinel (10 м) вважають достатнім для відображення ландшафтних змін у лісах, а дані вищого просторового розрізнення мають сенс тільки для відображення фрагментації цінних ділянок старовікових дерев і широколистяних лісів за умов домінування хвойних видів у регіоні та/або ландшафті.

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

Наукова новизна отриманих результатів дослідження: вперше показано вплив природних порушень у межах ЧЗВ на ландшафтні показники лісів та інших екосистем; виявлено як очікувані драматичні негативні зміни (збільшення кількості узлісь та зменшення середньої площі серцевинної ділянки лісового покриву), так і варіацію показників ландшафтного різноманіття залежно від попереднього наземного покриву.

Практична значущість результатів дослідження: отримані результати показують практичне застосування супутникових даних для оперативного моніторингу ландшафтів ЧЗВ за умов обмеженого доступу; просторове планування діяльності Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника та Державного спеціалізованого підприємства "Північна Пуша" можна

вдосконалити за допомогою кращого розуміння потрібних заходів зі зменшення фрагментації лісів; дистанційний моніторинг ділянок із підвищеним ландшафтным різноманіттям після пожеж необхідний через вищу пожежну небезпеку у таких видозмінених ландшафтах.

Висновки / Conclusions

Вперше показано вплив катастрофічних пожеж 2020 р. на ландшафтні показники лісів та інших екосистем Чорнобильської зони відчуження за допомогою даних супутникової зйомки. Виявлено значне збільшення мозаїчності та фрагментації лісового покриву (65 % зменшення площі серцевинної частини лісової ділянки на згарищах за збільшення площі узлісь на третину).

Показано, що залежно від попереднього типу наземного покриву можливе як збільшення, так і зниження локального ландшафтного різноманіття. Запропонований підхід на підставі алгоритму "ковзного вікна" дає змогу відобразити наслідки пожежі для лісового покриву – появу мозаїчності великої кількості невеликих ділянок з деревами, що вижили, чи збільшення фрагментації через суцільне зникнення деревного полог.

Подяки / Acknowledgements

Дослідження було профінансоване у рамках наукового проєкту Міністерства освіти і науки України М/77-2022.

References

1. Ager, A. A., Lasko, R., Myroniuk, V., Zibtsev, S., Day, M. A., Usenia, U., Bogomolov, V., Kovalets, I., & Evers, C. R. (2019). The wildfire problem in areas contaminated by the Chernobyl accident. *Science of the Total Environment*, 696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133954>
2. Beresford, N., Barnett, C. L., Gashchak, S., Kashparov, V., Kirieiev, S. I., Levchuk, S., Morozova, V., Smith, J. T., & Wood, M. D. (2021). Wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone – risks and consequences. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17(6), 1141–1150. <https://doi.org/10.1002/ieam.4424>
3. Evangelidou, N., Zibtsev, S., Myroniuk, V., Zhurba, M., Hamburger, T., Stohl, A., Balkanski, Y., Paugam, R., Mousseau, T. A., Moller, A. P., & Kireev, S. I. (2016). Resuspension and atmospheric transport of radionuclides due to wildfires near the Chernobyl Nuclear Power Plant in 2015: an impact assessment. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep26062>
4. Krawchuk, M. A., Meigs, G. W., Carwright, J. M., Coop, J. D., Davis, R., Holz, A., Kolden, C., & Meddens, A. J. H. (2020). Disturbance refugia within mosaics of forest fire, drought, and insect outbreaks. *Frontiers in Ecology and Environment*, 18(5), 235–244. <https://doi.org/10.1002/fee.2190>
5. Liu, J., Coomes, D. A., Hu, G., Liu, J., Yu, J., Luo, Y., & Yu, M. (2018). Larger fragments have more late - successional species of woody plants than smaller fragments after 50 years of secondary succession. *Journal of Ecology*, 107, 582–594. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13071>
6. Matsala, M., Bilous, A., Myroniuk, V., Holiaka, D., Schepaschenko, D., & See, L. (2021). The return of nature to the Chernobyl Exclusion Zone: increases in forest cover of 1.5 times since the 1986 disaster. *Forests*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/f12081024>
7. Silvério, D. V., Brando, P. M., Bustamante, M. M. C., et al. (2019). Fire, fragmentation, and windstorms: A recipe for tropical forest degradation. *Journal of Ecology*, 107, 656–667. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13076>
8. Vergara, P. M., Fierro, A., Alaniz, A. J., Carvajal, M. A., Lizama, M., & Llanos, J. L. (2021). Landscape-scale effects of forest degradation on insectivorous birds and invertebrates in austral temperate forests. *Landscape Ecology*, 36, 191–208. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01133-2>

LANDSCAPE-SCALE CHANGES IN CHORNOBYL EXCLUSION ZONE AFTER 2020 FOREST WILDFIRES

Natural disturbances drive landscape-scale changes in Chornobyl Exclusion Zone (CEZ) forest ecosystems. Forest cover area within CEZ is continuously accumulating each year. Given the restricted access to CEZ, the application of remote sensing data is an essential way to study landscape shifts shaped by natural disturbances. In the course of research we harnessed the spatial ecology principles and classified land cover data set before and after wildfires based on spectrally segmented Landsat data. We used a set of landscape metrics characterizing the parameters of landscape diversity and a fragmentation of targeted land cover class, in particular forest cover. Catastrophic wildfires of 2020 deeply impacted the fragmentation of forest cover across the entire CEZ area. The largest change was detected for the parameter of forest core area, where mean value for this land cover class decreased by 65 % on the burned areas, and forest edge area increased by a third. Additionally, these dramatic alterations were detected not only within ecosystems burned in 2020, but also at entire CEZ scale. Thus, mean forest cover core area decreased by 20 % at CEZ scale. This investigation revealed that values of landscape diversity indices can either increase or decline because of the previous land cover. Therefore, a repeated burning of areas, which had been burned in 2015 and where tree vegetation started to regrow, resulted in a local dampening of landscape diversity values. However, we found out that at CEZ scale the values of both Shannon and Simpson landscape diversity indices increased after 2020 wildfires. Aforementioned phenomenon was driven by a new landscape mosaic consisting of forest, shrub, herbaceous vegetation cover, and burned lands. This approach facilitates an estimation of spatial changes at landscape level, thus fostering a better understanding of linkages between forest and neighboring environment as a system.

Keywords: Normalized Burn Ratio; remote sensing; Landsat time series; forest cover fragmentation.