Методологія створення мапи інтенсивності пожеж та рівнів пошкодження ґрунту

Віктор Миронюк, Сергій Зібцев, Олександр Сошенський, Василь Гуменюк

Київ, травень 2021 р.

3MICT

Список графічних матеріалів	3			
1. Методика досліджень	4			
1.1. Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)	4			
1.1.1. Дані про термальні аномалії	4			
1.1.2. Супутникові знімки PlanetScope	4			
1.1.3. Супутникові знімки Sentinel 2	7			
1.2. Стратифікація території згарищ та дані натурних досліджень				
2. Результати дослідження	10			
2.1. Класифікація згарищ за інтенсивністю пожеж і ступенем пошкодження грунту	10			
2.2. Векторні карти інтенсивності пожеж (ступеня пошкодження рослинності) ступеня пошкодження ґрунту) та 16			
3. Опис матеріалів, що передаються в електронному форматі	26			
Список літератури	27			

Список графічних матеріалів

Рис. 1, аркуш 1. Ідентифікація пожеж на території дослідження (липень 2020 р.) 5 Рис. 1, аркуш 2. Ідентифікація пожеж на території дослідження (вересень-жовтень 20 р.) 6

2020 р.)
 Рис. 2. Осіння мозаїка зі знімків PlanetScope (комбінація каналів 3–4–2): полігони
 відображають контури згарищ, визначені візуально

Рис. 3. Мозаїки зі знімків Sentinel 2 до та після пожежі (комбінація каналів 12–8–5): а) жовтень 2019 р., б) жовтень 2020 р.; полігони відображають контури згарищ, визначені візуально 9

Рис. 4. Співвідношення між ступенями пошкодження насаджень, встановленими в натурі (CBI) та за знімками Sentinel 2: точками відображено фактичні емпіричні дані 10

Рис. 5. Співвідношення між ступенями пошкодження насаджень, встановленими в натурі (GeoCBI) та за знімками Sentinel 2: точками відображено фактичні емпіричні дані; лінія на фоні напівпрозорої смужки – середній прогноз з 95% довірчим інтервалом ступенів пошкодження; блакитні прямокутники вказують на реальне розташування класів пошкодження)

Рис. 6. Розподіл значень <u>dNBR</u> за ступенями пошкодження ґрунту: пунктирною лінією позначено границі ступенів пошкодження ґрунту 14

Рис. 7. Розподіл значень <u>dNBR</u>, встановлених за знімками Sentinel 2 14

Рис. 8. Фактична та уточнена карти інтенсивності пожежі, а також пошкодження грунту: (A) – ступінь пошкодження рослинності відповідно до значень <u>dNBR</u>, визначених за супутниковими знімками Sentinel 2 (жовтень 2020 р. і жовтень 2019 р.); (B) – скорегований ступінь пошкодження рослинності на основі даних польових досліджень; (C) – ступінь пошкодження ґрунту (C) 15

Рис. 9. Векторні карти рівнів інтенсивності пожеж і пошкодження ґрунту, розрахованих у межах таксаційних виділів на основі матеріалів дешифрування даних ДЗЗ 16

Рис. 10, аркуш 1. Векторні карти рівнів інтенсивності пожеж за окремими стратами: страти № 10 і № 20 17

Рис. 10, аркуш 1. Векторні карти рівнів інтенсивності пожеж за окремими стратами: страти № 30 і № 40 18

Рис. 10, аркуш 3. Векторні карти рівнів інтенсивності пожеж за окремими стратами: страти № 50 і № 60 19

1. Методика досліджень

1.1. Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)

Для визначення інтенсивності пожеж і ступеня пошкодження ґрунту використовувалися три типи даних ДЗЗ:

- 1) дані про термальні аномалії Suomi NPP VIIRS та MODIS MOD/MYD14 для визначення дат початку пожеж;
- 2) мультиспектральні супутникові знімки PlanetScope для визначення орієнтовного контуру згарищ та області інтересу дослідження;
- 3) мультиспектральні супутникові знімки Sentinel 2 для класифікації території за ступенем пошкодження рослинності (інтенсивністю пожеж) та ґрунту.

1.1.1. Дані про термальні аномалії

Дані про термальні аномалії використовувалися в режимі інтерактивного аналізу території за допомогою web-iнтерфейсу <u>https://worldview.earthdata.nasa.gov/</u> (рис. 1). На основі цього було встановлено, що на території досліджень у 2020 році сталося дві великі пожежі. Дата початку першої пожежі (6 липня 2020 р., рис. 16, аркуш 1), а також кінцева дата пожеж, що сталися наприкінці вересня та початку жовтня (9 жовтня 2020 р., рис. 1в, аркуш 2), використовувалися для визначення часового інтервалу для підбору супутникових знімків і аналізу змін спектральних характеристик земельного покриву.

1.1.2. Супутникові знімки PlanetScope

Мультиспектральні супутникові знімки PlanetScope використано задля визначення орієнтовних периметрів згарищ, що дозволило зосередитися на ретельному дешифруванні ступеня пошкодження території в межах встановленого контуру. Для цього знімки підбирали, орієнтуючись на дати початку і закінчення періоду пожеж. Стан території до пожежі відображали супутникові знімки PlanetScope, одержані впродовж 3–5 липня 2020 р., тоді як після пожежі – станом на 9 жовтня 2020 р. (табл. 1). Враховуючи те, що аналіз виконували візуально, особливих вимог стосовно відповідності сезону зйомки до зазначених мозаїк не висувалося (наприклад, літні чи осінні знімки), проте у виборі доступних дат орієнтувалися на абсолютно безхмарні знімки. Достатньо високе просторове розрізнення (3 м) разом із комбінацією спектральних каналів (ВЗ–В4–В2) дозволили створити чіткий контур згарищ, який складався з дев'яти окремих полігонів (рис. 3).

ruomių 1. identinpikutopi eden cynytinkobix sinikkis i lunetseope				
Літня мозаїка (до пожежі)	Осіння мозаїка (після пожежі)			
20200704_053349_104b_3B_AnalyticMS_SR	20201009_073508_49_2277_3B_AnalyticMS_SR			
20200704_053348_104b_3B_AnalyticMS_SR	20201009_051437_0f49_3B_AnalyticMS_SR			
20200704_053347_104b_3B_AnalyticMS_SR	20201009_051438_0f49_3B_AnalyticMS_SR			
20200703_073324_60_2271_3B_AnalyticMS_SR	20201009_051439_0f49_3B_AnalyticMS_SR			
20200705_074409_0e20_3B_AnalyticMS_SR	20201009_051440_0f49_3B_AnalyticMS_SR			
20200705_074408_0e20_3B_AnalyticMS_SR	20201009_080121_0f17_3B_AnalyticMS_SR			
20200705_074407_0e20_3B_AnalyticMS_SR	20201009_080122_0f17_3B_AnalyticMS_SR			
20200705_074406_0e20_3B_AnalyticMS_SR	20201009_080123_0f17_3B_AnalyticMS_SR			
20200704_074635_64_1067_3B_AnalyticMS_SR	20201009_082836_77_2307_3B_AnalyticMS			
20200704_074634_08_1067_3B_AnalyticMS_SR	20201009_082839_13_2307_3B_AnalyticMS			
20200704_074632_52_1067_3B_AnalyticMS_SR	20201009_082926_63_2419_3B_AnalyticMS			
20200705_081558_83_105c_3B_AnalyticMS_SR	20201009_082928_98_2419_3B_AnalyticMS			
20200705_081556_96_105c_3B_AnalyticMS_SR				

Таблиця 1. Ідентифікатори сцен супутникових знімків PlanetScope



Рис. 1, аркуш 1. Ідентифікація пожеж на території дослідження (липень 2020 р.)



Рис. 1, аркуш 2. Ідентифікація пожеж на території дослідження (вересень-жовтень 2020 р.)



Рис. 2. Осіння мозаїка зі знімків PlanetScope (комбінація каналів 3–4–2): полігони відображають контури згарищ, визначені візуально

1.1.3. Супутникові знімки Sentinel 2

Дешифрування ступеня пошкодження території виконано на основі мультиспектральних супутникових знімків Sentinel 2. Знімки підбирали таким чином, щоб вони відображали стан території до та після пожежі під час однієї фенологічної фази рослинності. В межах окресленого контуру пожеж (рис. 2) створено безхмарну мозаїку зі знімків Sentinel 2 до пожежі станом на 16 жовтня 2019 р., та станом 15 жовтня 2020 р – для відображення території після пожежі (рис. 3). У дослідженні використано супутникові знімки рівня обробки 2А, спектральні канали яких характеризують відбиття на поверхні грунту (Surface Reflectance), що є важливою передумовою для бі-темпорального порівняння даних. Крім цього в межах області інтересу знімки були абсолютно безхмарні, в зв'язку з чим не було потреби застосовувати додаткові алгоритми з покращення якості мозаїк.

<u>1 </u>	
Літня мозаїка (до пожежі)	Осіння мозаїка (після пожежі)
20191016T082929_20191016T083251_T37UDP	20201015T082931_20201015T083307_T37UEQ
20191016T082929_20191016T083251_T37UDQ	20201015T082931_20201015T083307_T37UEP
20191016T082929_20191016T083251_T37UEP	20201015T082931_20201015T083307_T37UDQ
20191016T082929_20191016T083251_T37UEQ	20201015T082931_20201015T083307_T37UDP

Таблиця 2. Ідентифікатори сцен супутникових знімків Sentinel 2

Класифікацію території за ступенем пошкодження рослинного покриву виконано на основі індексу *dNBR* (Key & Benson, 2006):

$$dNBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire},$$
(1)

де NBR_{prefire} та NBR_{postfire}- значення індексу NBR, розраховані відповідно до та після пожеж.

Загалом, індекс *NBR* обчислюється для кожного пікселя знімка за даними ближнього (*NIR*) та короткохвильового (*SWIR* 2) інфрачервоного каналів:

$$NBR = 1000 \cdot (NIR - SWIR 2) / (NIR + SWIR 2).$$
⁽²⁾

Оскільки для даних Sentinel 2 канал 8 (NIR – 0,83 мкм) та канал 12 (SWIR 2 – 2,2 мкм) мають різне спектральне розрізнення (відповідно 10 і 20 м), карти пошкоджень були підготовлені за нижчого просторового розрізнення – 20 м.



Рис. 3. Мозаїки зі знімків Sentinel 2 до та після пожежі (комбінація каналів 12–8–5): а) жовтень 2019 р., б) жовтень 2020 р.; полігони відображають контури згарищ, визначені візуально

Попередню класифікацію території за ступенем пошкодження виконано на основі порогових значень індекса *dNBR*, які відповідають трьом рівням (Кеу & Benson, 2006): високий (≥0,660), середній (0,270÷0,659), низький (0,100÷0,269).

1.2. Стратифікація території згарищ та дані натурних досліджень

Задля уточнення карти пошкоджень та пристосування її до задач розробки стратегії лісовідновлення на згарищах, а також проектування схеми вибіркових досліджень, використано базу даних ВО Укрдержліспроект. Дані про категорії лісових і нелісових ділянок, які були пошкоджені під час пожеж, використано для стратифікації території за мінімально доцільної кількості однорідних страт. Використана схема враховує поєднання категорій земель, типів лісорослинних умов і переважаючих деревних порід (табл. 3).

Номер страти	Категорія земель до пожежі	Тип лісорослинних умов	Головна порода	Частка від загальної площі, %
10	Вкриті лісовою рослинністю ділянки	A ₂₋₃	Сосна	27
20	Вкриті лісовою рослинністю ділянки	B2-3	Сосна	22
30	Вкриті лісовою рослинністю ділянки	$A_{0-1}; B_1; C_1; D_1$	Листяні, сосна	10
40	Вкриті лісовою рослинністю ділянки	A2-3; B2-3 B4; C2-5; D2-5 C2-3; D2-3	Листяні Листяні Сосна	8 5 1
50	Невкриті лісовою рослинністю ділянки	$A_{0-1}; B_1; C_1; D_1$	_	9
60	Інші невкриті лісовою рослинністю ділянки та нелісові землі	A2-3; B2-3 B4; C2-5; D2-5	_	17 1

Таблиця 3. Схема стратифікації території досліджень

Прийнята схема передбачає проведення єдиної системи лісівничих заходів в межах відповідного рівня пошкодження деревостанів і ґрунту. На основі цієї схеми та вихідної карти інтенсивності пожежі за трьома рівнями запроектовано стратифіковану вибірку натурних досліджень таким чином, щоб вона пропорційно (до площі страти) відображала різні типи земельного покриву та ступені пошкодження рослинності (Olofsson et al., 2014). Мінімально в страті (категорія земель – ступінь пошкодження) відбиралося три проби, тоді як їхня максимальна кількість досягала 14–18. Загалом було закладено 73 пробних ділянок, які налічували сім контрольних ділянок поза межами згарищ.

Під час польових досліджень на кожній пробній ділянці оцінювався фактичний ступінь пошкодження, використовуючи методики визначення на місцевості індексів СВІ (Key & Benson, 2006) та його модифікованої версії – індекс GeoCBI (De Santis & Chuvieco,

2009). Зазначені індекси являють собою комплексну бальну оцінку ступеня пошкодження, яка є сумарною величиною ступеня пошкодження різних страт рослинного покриву: живого надґрунтового покриву, чагарників, деревостанів. GeoCBI додатково враховує відсоток проективного покриття кожної страти, у зв'язку з чим є ефективнішим з точки зору можливості використання даних дистанційного зондування Землі для оцінки інтенсивності пожеж (Saulino et al., 2020). Крім цього на кожній пробі бралися зразки ґрунту для визначення ступеня їхнього пошкодження за методикою BAER (Parsons et al., 2010). Стан території фіксувався за допомогою серії фотографій, зроблених за методикою створення кругових панорам віртуальної реальності VR360 (Myroniuk et al., 2020; See & Cheok, 2015).

2. Результати дослідження

2.1. Класифікація згарищ за інтенсивністю пожеж і ступенем пошкодження ґрунту

Методика уточнення карт інтенсивності пожежі передбачаю вибору обґрунтованих порогових значень dNBR, які узгоджуються з фактичними рівнями пошкодження, які визначалися на місцевості. На основі індексу СВІ виявлено істотну взаємну варіацію досліджуваних показників, що не дозволило зробити висновок стосовно досліджуваного параметра (рис. 4).





Таблиця 4. Матриця помилок між ступенями пошкодження рослинності за даними дешифрування супутникових знімків Sentinel 2 і натурних досліджень згідно з індексом СВІ Наземний клас (СВІ) UA РА

Клас карти (<i>dNBR</i>)	непошкоджені ділянки	низький	середній	високий		
Непошкоджені ділянки	4	3	2	1	0,571	0,400
Низький	2	4	5	2	0,571	0,308
Середній	1	0	8	21	0,533	0,267
Високий	0	0	0	20	0,455	1,00

Загальна точність класифікації (ОА) знаходиться в діапазоні 0,481–0,716. За рис. 4 та матицею помилок (табл. 4) простежуються зміщені оцінки для середнього та високого рівнів інтенсивності пожежі, що зумовило потребу в подальшому зосередитися на індексі GeoCBI (рис. 5). Намагаючись скорегувати порогові значення *dNBR* для визначення рівнів пошкодження, використано рівняння (3), що вже використовувалося в подібних дослідженнях (Miller & Thode, 2007; Saulino et al., 2020):

$$dNBR = a + b \cdot exp(c \cdot FBI), \tag{3}$$

де *a*, *b*, *c* – коефіцієнти регресії; *FBI* – індекс ступеня пошкодження, визначений в натурі (CBI або GeoCBI).



Рис. 5. Співвідношення між ступенями пошкодження насаджень, встановленими в натурі (GeoCBI) та за знімками Sentinel 2: точками відображено фактичні емпіричні дані; лінія на фоні напівпрозорої смужки – середній прогноз з 95% довірчим інтервалом ступенів пошкодження; блакитні прямокутники вказують на реальне розташування класів пошкодження)

Параметри моделі підібрано в статистичній системі R за допомогою функції *nls*, використовуючи процедуру бутстрепінгу (James et al., 2013). Вона полягала в 1000-кратному підборі коефіцієнтів регресії на основі випадково сформованих вибірок із поверненням, визначенні медіани та стандартної помилки оцінок параметрів (табл. 5), а також 95 %-го довірчого інтервалу для прогнозу значень *dNBR* залежно від індексу GeoCBI (рис. 5).

Ouiuuro	Коефіцієнт регресії		
Оцінка	а	b	С
Параметр	0,05597	0,01513	1,400
Стандартна помилка	0,05128	0,01698	0,3191

Таблиця 5. Оцінки параметрів регресійної моделі (3)

У результаті моделювання порогові значення індексу *dNBR*, що застосовуються для створення дискретної карти пошкодження рослинності за трьома рівнями, були зміщені (сині прямокутники) з врахуванням результатів натурних досліджень. Після цього загальна точність тематичної карти становила 0,551–0,777 та істотно покращилися дисагрегація середнього та високого ступенів пошкодження (табл. 6).

Таблиця 6. Матриця помилок між скорегованими ступенями пошкодження рослинності за даними дешифрування супутникових знімків Sentinel 2 і натурних досліджень згідно з індексом GeoCBI

	Наземний клас (GeoCBI)					
Клас карти (<i>dNBR</i>)	непошкоджені ділянки	низький	середній	високий	UA	PA
Непошкоджені ділянки	4	2	2	1	0,571	0,444
Низький	2	2	3	1	0,286	0,250
Середній	1	3	19	7	0,730	0,633
Високий	0	0	2	24	0,727	0,923

Нижня та верхня границі індексу GeoCBI використовувалися для оцінки невизначеності площі ступенів пошкодження як невід'ємної складової характеристики будь-якої тематичної карти (табл. 7).

Таблиця 7. Порогові значення (чисельник) та оцінки площі (знаменник, тис. га) класів інтенсивності пожежі

	Фактичні порогові	Скореговані порогові значення <i>dNBR</i> на основі індексу GeoCBI			
Ступінь пошкодження	значення <i>dNBR</i> за методикою (Key & Benson, 2006)	нижня границя довірчого інтервалу	середнє значення	верхня границя довірчого інтервалу	
I.I	0,10	0,16	0,09	0,02	
НИЗЬКИИ	11475,9	4703,3	5016,5	2373,9	
Сополній	0,27	0,23	0,18	0,14	
Середни	21162,7	22999,0	24087,5	23360,8	
Високий	0,66	0,62	0,55	0,48	
	6931,8	8002,9	10466,4	13835,7	
Усього	39570,4	35705,2	39570,4	39570,4	

Карту ступеня пошкодження ґрунту теж підготовлено на основі співвідношення між встановленими на місцевості ступенями пошкодження та значеннями *dNBR*. Звісно, тут більше відношення має опосередкований взаємозв'язок між інтенсивністю пожежі та її впливом на ґрунтовий покрив. Загалом, під час польових досліджень було зафіксовано лише два ступеня пошкодження, порогові значення *dNBR* для яких наведено на рис. 6 та в табл. 8.



Рис. 6. Розподіл значень *dNBR* за ступенями пошкодження ґрунту: пунктирною лінією позначено границі ступенів пошкодження ґрунту

таолиця 0. пор	таблиця 6. порогові зна існих та площа пошкодження трупту					
Π	Ступінь пошкодження грунту					
Показник	низький	середній	усього			
dNBR	0,105	0,290	-			
Площа, тис. га	12656,7	26604,7	39261,4			

Таблиця 8. Порогові значення та площа пошкодження ґрунту

Фактичний розподіл значень *dNBR* (рис. 7) дозволяє зрозуміти особливості перерозподілу площі між різними варіантами класифікації території згарищ (рис. 8).



Рис. 7. Розподіл значень dNBR, встановлених за знімками Sentinel 2



Рис. 8. Фактична та уточнена карти інтенсивності пожежі, а також пошкодження грунту: (A) – ступінь пошкодження рослинності відповідно до значень dNBR, визначених за супутниковими знімками Sentinel 2 (жовтень 2020 р. і жовтень 2019 р.); (B) – скорегований ступінь пошкодження рослинності на основі даних польових досліджень; (C) – ступінь пошкодження грунту (C)

2.2. Векторні карти інтенсивності пожеж (ступеня пошкодження рослинності) та ступеня пошкодження ґрунту

На основі повидільної картографічної бази даних та скорегованих карт пошкоджень (рис. 8) для кожного таксаційної виділу розраховано переважаючий ступінь інтенсивності пожеж та ступінь пошкодження грунту, а також загальну частку виділу, яка зазнала хоча б якогось впливу пожежі. Одержані векторні карти інтенсивності пожеж для всіх категорій ділянок, а також за окремими стратами наведено на рис. 9.



Рис. 9. Векторні карти рівнів інтенсивності пожеж і пошкодження ґрунту, розрахованих у межах таксаційних виділів на основі матеріалів дешифрування даних ДЗЗ



Рис. 10, аркуш 1. Векторні карти рівнів інтенсивності пожеж за окремими стратами: страти № 10 і № 20



Рис. 10, аркуш 1. Векторні карти рівнів інтенсивності пожеж за окремими стратами: страти № 30 і № 40



Рис. 10, аркуш 3. Векторні карти рівнів інтенсивності пожеж за окремими стратами: страти № 50 і № 60

У табл. 9 наведено характеристику рівнів інтенсивності пожеж і ступеня пошкодження ґрунту, які були встановлені під час натурних досліджень. Аналогічні рівні на картах відповідають зазначеним у таблиці характеристикам з урахуванням показників невизначеності результатів цього дослідження (див. рис. 5 і рис. 6).

Номер страти	Рівень інтенсивності пожежі	Характеристика рівня інтенсивності пожеж	Типове фото ділянки та посилання на кругову панораму VR360
10	Низький	Соснові насадження в, які ростуть у типах лісорослинних умов А ₂ -свіжий бір та А ₃ - вологий бір. Характеризуються низьким ступенем пошкодження. Середнє значення CBI – 0,7, GeoCBI – 0,7. Приклад – ділянка ID-84. Характеристики: ділянка пройдена низовою пожежею низької інтенсивності; є значна частка дерев із зеленою хвоєю; висота нагару – до 2 м; CBI – 1,4; GeoCBI – 1,2; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – низький.	https://kuula.co/post/n1/ collection/7Y2bq
	Середній	Соснові насадження в, які ростуть у типах лісорослинних умов А ₂ -свіжий бір та А ₃ - вологий бір. Приклад – ділянка ID-72. Характеристики: ділянка пройдена низовою пожежею сильної інтенсивності; є поодинокі дерева із зеленою хвоєю, на решті дерев хвоя коричневого кольору; середня висота нагару – 6 м; CBI – 2,4; GeoCBI – 2,4; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – середній.	https://kuula.co/post/7rPm7
	Високий	Соснові насадження в, які ростуть у типах лісорослинних умов А ₂ -свіжий бір та А ₃ - вологий бір. Приклад – ділянка ID-2. Характеристики: середньовікове насадження; ділянка пройдена низовою пожежею сильної інтенсивності; дерев із зеленою хвоєю немає; вся хвоя коричнева або відсутня, 70 % хвої обсипалося; середня висота нагару – 6 м; CBI – 2,9; GeoCBI – 2,5; Ступінь пошкодження грунту (SBSC) – середній.	https://kuula.co/post/7rPXh

Таблиця 9. Характеристика рівнів інтенсивності пожеж

Номер	Рівень	Характеристика	Типове фото ділянки та
страти	пожежі	рівня інтенсивності пожеж	панораму VR360
20	Низький	Соснові насадження в, які ростуть у типах лісорослинних умов В ₂ -свіжий бір та В ₃ - вологий бір. Приклад – ділянка ID-70. Характеристики: пристигаюче насадження; ділянка пройдена низовою пожежею слабкої інтенсивності; є значна частка дерев із зеленою хвоєю; на решті дерев хвоя коричнева; середня висота нагару – 4 м; СВІ – 1,5; GeoCBI – 1,6; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – низький.	https://kuula.co/post/7rPXh
	Середній	Соснові насадження в, які ростуть у типах лісорослинних умов В ₂ -свіжий бір та В ₃ - вологий бір. Приклад – ділянка ID-40. Характеристики: пристигаюче насадження; ділянка пройдена низовою пожежею сильної інтенсивності; є незначна частка дерев із зеленою хвоєю; на решті дерев хвоя коричнева або обпала; середня висота нагару – 5,5 м; СВІ – 2,4; GeoCBI – 2,2; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – середній.	https://kuula.co/post/7rltG
	Високий	Соснові насадження в, які ростуть у типах лісорослинних умов В ₂ -свіжий бір та В ₃ - вологий бір. Приклад – ділянка ID-69. Характеристики: середньовікове насадження; ділянка пройдена низовою пожежею сильної інтенсивності; дерев із зеленою хвоєю немає; вся хвоя коричнева або відсутня, 70 % хвої обсипалося; середня висота нагару – 7 м; СВІ – 2,8; GeoCBI – 2,6; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – середній.	https://kuula.co/post/7rP7y

Номер	Рівень інтенсивності	Характеристика	Типове фото ділянки та посилання на кругову
страти	пожежі	рівня інтенсивності пожеж	панораму VR360
	Низький	Насадження в дуже сухих і сухих умовах (індекс гігротопу 0-1). Приклад – ділянка ID-88. Характеристики: вікова група – молодняки, насадження до 40 р.; ділянка пройдена низовою пожежею слабкої інтенсивності; є значна частка дерев із зеленою хвоєю та незначна частка дерев із зеленою хвоєю та незначна частка дерев із коричневою хвоєю; середня висота нагару – 0,5 м; CBI – 1,2; GeoCBI – 1,4; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – низький.	https://kuula.co/post/7rPfX
30	Середній	Насадження в дуже сухих і сухих умовах (індекс гігротопу 0-1). Приклад – ділянка ID-116. Характеристики: вікова група – молодняки, (насадження до 40 р.) з поодинокими великими деревами, мішане із переважанням листяних видів; ділянка пройдена низовою пожежею середньої інтенсивності; є значна частка дерев які вижили; середня висота нагару – 1 м; CBI – 2,2; GeoCBI – 2,4; Ступінь пошкодження грунту (SBSC) – низький.	
	Високий	Насадження в дуже сухих і сухих умовах (індекс 0-1). Приклад – ділянка ID - 8. Характеристики: вікова група – молодняки (віком до 40 р.); ділянка пройдена верховою пожежею; дерева без хвої; СВІ – 3,0; GeoCBI – 2,8; Ступінь пошкодження грунту (SBSC) – середній.	

Номер страти	Рівень інтенсивності пожежі	Характеристика рівня інтенсивності пожеж	Типове фото ділянки та посилання на кругову панораму VR360
40	Низький	Листяні насадження в усіх умовах окрім дуже сухих та сухих (індекс гігротопу 0-1), соснові насадження в багатих умовах (свіжі та вологі складні субори C ₂ -C ₃ , свіжі та вологі діброви D ₂ -D ₃). Приклад – ділянка ID-18. Характеристики:	
		вікова група - молодняки (віком до 40 р.); листяне насадження з поодинокими старшими деревами сосни; ділянка пройдена низовою пожежею слабкої інтенсивності; СВІ – 1,2; GeoCBI – 1,1; Ступінь пошкодження грунту (SBSC) – низький.	
	Середній	Листяні насадження в усіх умовах окрім дуже сухих та сухих (індекс гігротопу 0-1), соснові насадження в багатих умовах (свіжі та вологі складні субори C ₂ -C ₃ , свіжі та вологі діброви D ₂ -D ₃). Приклад – ділянка ID-78. Характеристики: різновікове листяне насадження з поодинокими великими деревами; ділянка пройдена низовою пожежею середньої інтенсивності; молоді дерева із тонкою корою загинули – решта живі; середня висота нагару – 1 м; CBI – 1,2; GeoCBI – 1,1; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – низький.	
	Високий	Листяні насадження в усіх умовах окрім дуже сухих та сухих (індекс гігротопу 0-1), соснові насадження в багатих умовах (свіжі та вологі складні субори С ₂ - С ₃ , свіжі та вологі діброви D ₂ -D ₃). Приклад – ділянка ID-57. Характеристики: середньовікове насадження (береза, осика, вільха); ділянка пройдена низовою пожежею сильної інтенсивності; CBI – 3,0; GeoCBI – 2,6; Ступінь пошкодження грунту (SBSC) – середній.	

Номер страти	Рівень інтенсивності пожежі	Характеристика рівня інтенсивності пожеж	Типове фото ділянки та посилання на кругову панораму VR360
50	Низький	Невкриті лісом ділянки в дуже сухих і сухих умовах (піски) Приклад – ділянка ID-108. Характеристики: невкрита лісом ділянка пройдена низовою пожежею слабкої інтенсивності; на ділянці є молоді дерева дуба, які вижили; СВІ – 1,1; GeoCBI – 1,5; Ступінь пошкодження грунту (SBSC) – низький.	
	Середній	Невкриті лісом ділянки в дуже сухих і сухих умовах (піски) Приклад – ділянка ID - 83. Характеристики: невкрита лісом ділянка (незімкнуті культури) пройдена низовою пожежею середньої інтенсивності; на ділянці є молоді дерева дуба та берези, які вижили; СВІ – 1,6; GeoCBI – 1,5; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – середній.	
	Високий	Невкриті лісом ділянки в дуже сухих і сухих умовах (піски) Приклад – ділянка ID - 20. Характеристики: невкрита лісом ділянка з поодинокими деревами сосни та куртинами берези пройдена низовою пожежею; CBI – 3,0; GeoCBI – 2,6; Ступінь пошкодження грунту (SBSC) – низький.	
60	Низький	Усі інші ділянки (нелісові землі). Приклад – ділянка ID-120. Характеристики: невкрита лісом староорна ділянка пройдена низовою пожежею слабкої інтенсивності; на ділянці є молоді плодові та чагарникові види, які вижили; CBI – 1,0; GeoCBI – 1,0; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – низький.	

Номер страти	Рівень інтенсивності пожежі	Характеристика рівня інтенсивності пожеж	Типове фото ділянки та посилання на кругову панораму VR360
60	Середній	Усі інші ділянки (нелісові землі). Приклад – ділянка ID - 92. Характеристики: невкрита лісом староорна ділянка пройдена низовою пожежею слабкої інтенсивності; на ділянці є молоді чагарникові види та дерева сосни звичайної, частина дерев загинула (близько 40 %), решта - живі; СВІ – 2,4; GeoCBI – 2,4; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – середній.	
	Високий	Усі інші ділянки (нелісові землі). Приклад – ділянка ID - 105. Характеристики: невкрита лісом староорна ділянка пройдена низовою пожежею середньої інтенсивності; на ділянці є молоді дерева сосни звичайної та берези повислої, більшість дерев загинула; CBI – 2,8; GeoCBI – 2,8; Ступінь пошкодження ґрунту (SBSC) – середній.	

3. Опис матеріалів, що передаються в електронному форматі

Luhansk_2020_fires_dnbr_continuous.tif

Неперервна карта зі значеннями індексу *dNBR*, розрахованого за супутниковими знімками Sentinel 2:

- діапазон значень пікселів:-0.5÷1.4)

Luhansk 2020 fires dnbr 3cl.tif

Дискретна карта рівнів інтенсивності пожежі, створена відповідно до шкали (Key & Benson, 2006):

- значення пікселів: 1 - низький рівень; 2 - середній рівень; 3 - високий рівень

Luhansk 2020 fires dnbr 3cl GeoCBIadj.tif

Дискретна карта рівнів інтенсивності пожежі відповідно до шкали, скорегованої на основі результатів натурних досліджень:

- значення пікселів: 1 - низький рівень; 2 - середній рівень; 3 - високий рівень

Luhansk_2020_fires_dnbr_3cl_GeoCBIadj_LOW.tif

Luhansk 2020 fires dnbr 3cl GeoCBIadj UP.tif

Нижня та верхня границі довірчих інтервалів при ймовірності 0.95, встановлених для границь класів карти інтенсивності пожеж Luhansk 2020 fires dnbr 3cl GeoCBIadj.tif:

- значення пікселів: 1 - низький рівень; 2 - середній рівень; 3 - високий рівень

Luhansk 2020 fires dnbr 2cl Soil.tif

Дискретна карта ступенів пошкодження ґрунту, визначених на основі результатів натурних досліджень:

- значення пікселів: 1 - низький рівень; 2 - середній рівень

plot level burn indices.shp

Векторна карта з агрегованими в межах таксаційного виділу рівнями інтенсивності пожежі та ступенями пошкодження ґрунту:

- характеристика полів:

strata – номер страти TotalBurned – частка виділу, пошкоджена пожежею (всі рівні) FireIntens – рівень інтенсивності пожежі SoilBS – ступінь пошкодження ґрунту

field_smpl_dnbr.csv

Файл з показниками пошкоджень, встановленими в натурі на пробних ділянках: - характеристика полів:

id – ідентифікатор ділянки

X, Y — координати центрів ділянок в системі WGS84 map_class — шифр страти (перша цифра) і ступеня пошкодження (друга цифра), встановленого за картою Luhansk_2020_fires_dnbr_3cl.tif CBI — значення індексу CBI, встановлене на пробі GeoCBI — значення індексу GeoCBI, встановлене на пробі SBSC — ступінь пошкодження ґрунту, встановлений на пробі

Список літератури

De Santis, A., & Chuvieco, E. (2009). GeoCBI: A modified version of the Composite Burn Index for the initial assessment of the short-term burn severity from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, *113*(3), 554–562. https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.011

James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (Eds.). (2013). An introduction to statistical learning: With applications in R. Springer.

Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). *Landscape Assessment (LA): Sampling and Analysis Methods* (General Technical Report RMRS-GTR-164; FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System, p. LA-1-LA-51). Rocky Mountain Research Station, US Department of Agriculture, Forest Service.

Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66–80. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006

Myroniuk, V., Bilous, A., Khan, Y., Terentiev, A., Kravets, P., Kovalevskyi, S., & See, L. (2020). Tracking Rates of Forest Disturbance and Associated Carbon Loss in Areas of Illegal Amber Mining in Ukraine Using Landsat Time Series. *Remote Sensing*, *12*(14), 2235. https://doi.org/10.3390/rs12142235

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, *148*, 42–57. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015

Parsons, A., Robichaud, P. R., Lewis, S. A., Napper, C., & Clark, J. T. (2010). *Field Guide for Mapping Post-Fire Soil Burn Severity* (General Technical Report RMRS-GTR-243; p. 49). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Saulino, L., Rita, A., Migliozzi, A., Maffei, C., Allevato, E., Garonna, A. P., & Saracino, A. (2020). Detecting Burn Severity across Mediterranean Forest Types by Coupling Medium-Spatial Resolution Satellite Imagery and Field Data. *Remote Sensing*, *12*(4), 741. https://doi.org/10.3390/rs12040741

See, Z. S., & Cheok, A. D. (2015). Virtual reality 360 interactive panorama reproduction obstacles and issues. *Virtual Reality*, *19*(2), 71–81. https://doi.org/10.1007/s10055-014-0258-9