

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВОГО ФОНДУ ЗА СУЧАСНИМИ ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

С. О. Сластін, начальник групи

E-mail: sergiy_slastin@ukr.net

Національний центр управління та випробувань космічних засобів

О. О. Опришко, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: Ozon.kiev@nubip.edu.ua

Н. А. Пасічник, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

E-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua

К. О. Піскун, студентка

E-mail: Kristinapiskun@nubip.edu.ua

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

E-mail: sosdok@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Представлений комплекс досліджень автоматизованого моніторингу лісового фонду України щодо виявлення місць виникнення лісових пожеж, обсягів згарищ, вирубок лісу за використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) (SuperView-1, Sentinel-2, MODIS у певних спектральних діапазонах). На наступному етапі здійснюється визначення економічних збитків, які були заподіяні в наслідок лісових пожеж з використанням порівняльного аналізу контурів та площ згарища з даними кадастру лісового фонду України, на основі програмної платформи ArcGIS. На заключному етапі – формуються тематичні карти з точними координатами площ зникнення лісистості та точок виникнення вогнищ.

Інтенсивна втрата лісонасаджень в Україні за останні десятиріччя створює екологічно небезпечну ситуацію в регіонах України, тому виникла необхідність якісного контролю лісонасаджень та оперативного запобігання пожеж і усунення хвороб лісів. Описана методика дозволить здійснити контроль лісів з подальшим вживанням усіх можливих заходів щодо раціонального використання та збереження лісистості. Отримані дані з космічних апаратів рекомендовано оперативно передавати до лісогосподарств для якнайшвидшого реагування та усунення потенційно небезпечної ситуації – загорання лісів. Рекомендовано забезпечити додатковий моніторинг іншими засобами та методами: ведення наземного спостереження лісниками, застосування наземних вишок спостереження та безпілотних літальних апаратів.

Представлена сучасна методика супутникового моніторингу допомагає виявити факти виникнення пожеж, визначати координати осередків вогнища, що призвели до пожежі, визначити зміни лісонасаджень: вирубки, згарища, ділянки з сухою або хворою рослинністю протягом 1 – 3 діб після надання замовлення оператору супутників ДЗЗ SuperView-1.

Використання методики дистанційного зондування Землі допомагає визначити: температурні аномалії за даними MODIS, вогнища та згарища за даними Sentinel-2 і SuperView-1, а також здійснювати спостереження за пожежами, прогнозувати можливість їх розповсюдження, проводити оцінку наслідків заподіяної шкоди отриманої в наслідок пожеж.

Ключові слова: *дистанційне зондування Землі, SuperView-1, Sentinel-2, MODIS, лісонасадження, вирубка лісів, температурні аномалії, лісові пожежі*

Актуальність. За даними Державного агентства лісових ресурсів України за 2016 рік загальна площа лісового фонду України становила – 10,4 млн. га, із яких вкритих лісовою рослинністю – 9,6 млн. га, з них хвойні ліси (переважна порода ялина та сосна) займають 42,2 % загальної площі [1]. Виходячи з загальної площі України, ліси займають 15,9 %.

У інших країнах світу лісонасадження становлять, відповідно: 18 % – в Угорщині, 31 % – у Франції, 28 % – у Румунії, 29 % – у Польщі, 33 % – у Німеччині, 35 % – у США, 35 % – у Болгарії [2]. Цей факт підтверджує необхідність бережливого відношення до лісового фонду нашої країни. Вихід певних територій України з-під контролю держави призвели до тимчасової втрати ще 4 % лісонасаджень [3]. Тому виникає необхідність автоматизованого моніторингу та контролю лісонасаджень з метою запобігання знищенню лісів.

Найбільшу небезпеку для лісів створюють: незаконні вирубки, лісові пожежі, всихання та хвороби.

Згідно публічного звіту Державного агентства лісових ресурсів України тільки за 2019 рік загальний обсяг незаконних вирубок склав 118 тис. куб. м. на суму заподіяної шкоди 814,2 млн. грн., що у 6,6 разів перевищує обсяг незаконних вирубок у 2018 році [4].

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, в екосистемі в 2020 році виникало понад 15,5 тис. загорянь. Пожеж стало набагато більше – за три місяці цього року вогнем знищено майже така ж кількість лісів і трави, як за весь

2018 рік, відзначають в Державній службі України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) [5].

На початок 2018 року в Україні активно всихають такі цінні породи як дуб, ясен, граб, але найбільше – хвойні: ялина, сосна. Дереву знищують хвороби і шкідники, зокрема, короїд верхівковий, короїд-типограф. В Україні від всихання страждають Українські Карпати (в Львівській обл. 16,2 тис. га всохлих хвойних дерев, в Івано-Франківській – майже 5 тис. га, Закарпатській – 1,5 тис. га, Чернівецькій – 1,4 тис. га). Окрім хвойних всихають також листяні дерева: в Кіровоградській області (дуб – 40,3 тис. га, сосна – 3,4 тис. га), Волинській (сосна – 36,8 тис. га, дуб – 2,6 тис. га), Черкаській (сосна – 10,4 тис. га, дуб – 9,4 тис. га), Житомирській (сосна – майже 13 тис. га, дуб – майже 2 тис. га), Чернігівській (сосна – 14,3 тис. га, дуб – 1,6 тис. га) та інших областях [6].

Важливість збереження лісів на державному рівні підтверджує Указ Президента України № 511/2019 від 9.07.2019 р. «Про деякі заходи щодо збереження лісів та раціонального використання лісових ресурсів» [7].

Для здійснення якісного контролю лісів з подальшим вживанням усіх можливих заходів щодо раціонального використання та збереження слід забезпечити моніторинг усіма можливими засобами та методами: веденням наземного спостереження лісниками, застосуванням наземних вишок спостереження, безпілотних літальних апаратів та використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космічних апаратів (КА).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні десятиріччя екологічність, озеленення та збереження лісів досягло планетарних масштабів. Питання моніторингу змін лісонасадження за допомогою ДЗЗ актуальне для вчених різних країн. Використання супутникових знімків дозволяє значно зменшити витрати на вивчення та контроль стану лісонасаджень. Наприклад, вченими з Австралії в публікації 2017 року [8] доведено можливість використання даних ДЗЗ винятково для моніторингу деградації, яка мала помітний вплив на покрив лісу. Застосування цього методу дозволяє не лише здійснювати розрізнення неущожденного від деградованого лісу, а й спостерігати його відновлення.

Практичний приклад доцільності використання даних ДЗЗ з великою кількістю мультиспектральних смуг з високою просторовою роздільною здатністю на прикладі даних Sentinel-2 (S2) показали вчені з Італії 2017 році [9]. Дані застосовуються для вдосконалення класифікації типів лісів у середньо-великих масштабах завдяки одночасній наявності мультиспектральних смуг з високою просторовою роздільною здатністю та швидким часом перегляду. Застосування даних за різні фенологічні періоди (зима, весна, літо) з одночасним використанням індексів рослинності (VI) дозволяють розрізняти категорії лісів (хвойні, широколисті та змішані ліси) та чотири типи лісів (букові ліси; змішані ялиново-ялищеві ліси; каштанові ліси; змішані дубові ліси). Використання лише літніх знімків не дає можливості розрізняти категорії лісів та їх типи. Використання цих даних дає точність $> 83 \%$ у всіх розглянутих типах лісів.

У дослідженні румунських вчених 2017 року [10] висвітлюється проблема розбіжності лісистих ділянок, між офіційними кадастровими даними та класифікацією супутникових зображень. Кадастрові бази даних застаріли і не відображають масштаб процесу розповсюдження дерев та чагарників на території, де припинено сільськогосподарське використання.

У 2017 році італійськими вченими [11] доведено необхідність проведення оновлення класів землекористування в аспекті сукцесії лісів з обробкою сучасних супутникових знімків Sentinel-2. Це дозволить значно швидше та дешевше (на основі безкоштовних геоданих) інвентаризувати зміни лісів, що є важливим у аспекті реалізації програм ЄС, та може значно покращити оновлення кадастрових баз даних.

У результаті дослідження 2011 року вченими з США [12] доведена важлива роль лісів у місцевому, регіональному та глобальному кліматі. Ліси займають понад 21 % поверхні Землі і мають дуже великий широтний градієнт. Люди продовжують впливати на глобальний земельний покрив через побудову житла, вирубку лісів, сільське господарство і все частіше через антропогенні зміни клімату. Виникає необхідність включення моніторингу зміни лісового покриву в цілісні дослідження кліматичних змін в глобальному енергетичному балансі.

У 2016 році [13] вчені з Китаю дослідили використання різночасових даних ДЗЗ з сканеру MODIS з подальшим їх автоматичним кореляційним аналізом, щоб видалити хибні аномалії, пов'язані з сезонністю часових рядів, що збільшить надійність інформації про аномалії. На знімках пропонується заздалегідь проводити обробку щодо видалення хмар та використовувати супутникові зображення із вищою просторовою роздільною здатністю для збільшення ефективності методу.

Вченими з Іспанії у 2019 році [14] проведена кореляція між планетарною температурою Earth Surface Temperature (EST) та даними з TERRA/AQUA (MODIS) (коефіцієнт кореляції 0,93), що демонструє високий потенціал даних теплового інфрачервоного каналу супутника для забезпечення точних даних для досліджень. Дані КА NOAA пропонуються використовувати для оцінки аномалій середньої температури поверхні Землі.

У дослідженні [15] 2020 року показано актуальність застосування даних ДЗЗ в управлінні лісами, як ключовий елемент в програмі державної інвентаризації лісів. Дистанційне зондування представлене як єдиний сучасний високотехнологічний спосіб виявлення порушень законодавства про лісове господарство під час використання лісів і для здійснення наглядових функцій.

Вчені з Китаю в 2015 році розробили методику вивчення змін лісонасадження від засухи, вирубки, знищень лісу від шкідників [16]. Дослідження виконані за допомогою ДЗЗ за даними мультиспектральних знімків Landsat-8, проведений моніторинг знімків до посухи та після, показав вплив на рослинність. Однак учені попереджають про доцільність правильного вибору періоду отримання знімків за рекомендацією біологів.

Метою дослідження є висвітлення комплексної методики дистанційного зондування Землі за даними SuperView-1, Sentinel-2, MODIS (в ІЧ діапазоні) для оперативного визначення площі змін лісонасаджень: вирубки, пожежі/вогнища (точкові) з точними географічними координатами. Це дає змогу ефективно здійснювати моніторинг лісового фонду України з подальшим забезпеченням їх якісного контролю.

Матеріали та методи дослідження. Ліс – екосистема або тип природних комплексів, у якому поєднуються переважно деревна та чагарникова рослинність з відповідними ґрунтами, трав'яною рослинністю, тваринним світом, мікроорганізмами та іншими природними компонентами, що взаємопов'язані у своєму розвитку, впливають один на одного і на навколишнє природне середовище.

До **лісового фонду України** належать лісові ділянки, в тому числі захисні насадження лінійного типу, площею не менше 0,1 га.

До лісового фонду України не належать:

- зелені насадження в межах населених пунктів (парки, сади, сквери, бульвари тощо), які не віднесені в установленому порядку до лісів;
- окремі дерева і групи дерев, чагарники на сільськогосподарських угіддях, присадибних, дачних і садових ділянках [17].

Сучасна практика ДЗЗ ґрунтується на інформації, яку одержують телевізійними, оптико-електронними, інфрачервоними, лазерними, радіотепловими, радіолокаційними системами, а також традиційними фотографічними системами.

У світі самим ефективним напрямком використання цих ДЗЗ є моніторинг температурних явищ. Найбільш відомими інформаційними системами дистанційного моніторингу температурних явищ є: канадська система Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS), американська система National Fire Danger Rating System (NFDRS), російська інформаційна система дистанційного моніторингу Федерального агентства лісового господарства «ИСДМ Рослесхоз», Європейська система European Forest Fire Information System (EFFIS) та система Організації Об'єднаних Націй (ООН) Fire Information for Resource Management System (FIRMS).

Завдяки вказаним вище системам, кожен пересічний громадянин може отримати інформацію про потенційні пожежі на території його країни. Одним з недоліків систем є недостатня оперативність виставлення даних, а саме від 3 до 5 годин після проведення зйомки, що не дає можливості для швидкого редагування та вживання заходів для ліквідації ймовірної пожежі. Цей недолік можливо усунути

шляхом безпосереднього прийому інформації в зацікавленій країні та оперативною її обробкою і передачею відповідним структурам для прийняття необхідних заходів.

Єдиною діючою системою державного рівня в Україні є Урядова інформаційно-аналітична система України з надзвичайних ситуацій (УІАС НС), яка забезпечує міжвідомчу інформаційну взаємодію і аналітичну підтримку прийняття рішень з використанням аналітичних і прогностичних систем на базі ГІС. Методика автоматизованого визначення температурних явищ за результатами оброблення даних дистанційного зондування Землі з космосу поки не відпрацьована. Аналіз методів обробки даних ДЗЗ, що використовуються в іноземних системах, показав низьку ймовірність визначення температурних явищ на території України.

Вище зазначені системи, зазвичай використовують інформацію з КА: Sentinel-2 (MSI), NOAA (AVHRR), TERRA/AQUA (MODIS), SUOMI NPP(VIIRS). Основні тактико-технічні характеристики їх сканерів представлено в табл. 1.

Основні тактико-технічні характеристики сканерів ДЗЗ

Пристрій	AVHRR	MODIS	VIIRS	MSI
Характеристики				
Смуга огляду, км	2500	2330	3060	290
Радіометричне розрізнення, біт	10	12	12-14	12
Просторове розрізнення, м	1100	NIR-250-1000 SWIR-500 TIR-1000	375/750	10/20/60
Кількість спектральних каналів в ІЧ діапазоні	NIR-1 SWIR-1 TIR-2	NIR-6 SWIR-3 TIR-16	NIR-3 SWIR-8 TIR-4	NIR-4 SWIR-12 TIR-0

Примітка: NIR-ближній, SWIR-середній, TIR-дальній (температурний).

Пожежі, які виникають в природних системах – це явище з певними притаманними ознаками, серед яких слід виділити: підвищення температури поверхні та наявність (у більшості випадків) диму. Методи детектування пожеж

базуються на використанні аномальних теплових характеристик поверхні, які визначено рівнянням (1). Тому, методи детектування за даними ДЗЗ мають базуватися на аналізі температур яскравості в окремих спектральних каналах. Температура поверхні, відповідно до калібрувальних умов більшості супутникових сенсорів, визначається за виразом [18]:

$$T = \frac{hc}{k\lambda} \cdot \frac{1}{\ln(2hc^2 \lambda^{-5} L^{-1} + 1)}, \quad (1)$$

де h – постійна Планка (Дж·с); c – швидкість світла у вакуумі (м/с); k – газова константа Больцмана (Дж/К); λ – довжина хвилі (м); T – яскравісна температура (К); L – яскравість ділянки (Вт·м⁻²стер-1м⁻¹), яка визначається коефіцієнтом відбиття r_λ .

Важливим показником для обробки даних ДЗЗ є температура насичення – максимально можлива температура, яку можна практично зафіксувати на певній довжині хвилі. Не менш важливий чинник – температура яскравості, яка відповідає умовам горіння і може бути зафіксована в окремих спектральних каналах.

Для обробки даних ДЗЗ використовують наступні методи визначення показників температурних явищ з метою визначення осередків пожеж [19, 20]:

– Кауфмана (1991 рік):

$$T3 > 316, T3 - T4 > 10, T4 > 250, \quad (2)$$

де $T3, T4, T5$ – яскравісна температура в 3-, 4- і 5-му каналах апаратури AVHRR відповідно;

– Франса (1993 рік):

$$T3 > 320, T3 - T4 > 15, 0 < (T3 - T4) < 5, A1 > 9\%, \quad (3)$$

де $A1$ - значення альбедо в 1-му каналі;

– Кеннеді (1994 рік):

$$T3 > 320, T3 - T4 > 10, A2 < 16\%, \quad (4)$$

де $A2$ -значення альбедо в 2-му каналі.

Власне алгоритм детектування пожеж, заснований на значній різниці температур земної поверхні (зазвичай не вище 10 – 25 °С) і джерела пожежі (300 – 900 °С), описано у роботах Justice С. О. [21].

Метод використаний у цьому дослідженні можна поділити на такі етапи:

1. Визначення тестових ділянок – знаходження ділянок лісонасаджень з часовими змінами внаслідок пожеж, вирубок з наявною наземною інформацією з лісових господарств.
2. Аналіз порядку доступу та підбір космічних знімків. Моніторинг наявних супутникових знімків за визначеними ділянками, вибір даних ДЗЗ придатних для використання (відсутність хмарності, кут сонця та зйомки) та їх завантаження.
3. Обробка КЗ в ГІС- середовищі (ArcGIS, QGIS). Для визначення температурних аномалій рекомендоване обробляння в відповідних спектральних діапазонах для знімків з:

Super View – 1

R - b4 (0.77-0.89 мкм), G - b2 (0.52-0.59 мкм), B - b1 (0.45-0.52 мкм).

Sentinel-2

R - b12 (2 мкм), G - b3 (0.56 мкм), B - b2 (0.49 мкм).

TERRA/AQUA (MODIS)

R - b31 (11 мкм), G - b4 (0.56 мкм), B - b3 (0.46 мкм) додатково b21 (4 мкм).

4. Визначення точкових чи площадкових температурних аномалій на знімках, інтерпретовані як загоряння/пожежі.
5. Побудова тематичних карт змін лісонасаджень (за потреби).
6. Опис отриманих результатів.

Вказана **методика дозволяє** здійснити моніторинг лісонасаджень України та прискорити реагування по зупиненню пожеж, зокрема:

1. Ідентифікувати належність лісової ділянки лісництву, кварталу та виділу.
2. Забезпечити можливість отримання даних ДЗЗ низької та середньої просторової розрізненості з визначеними температурними аномаліями та їх негайної обробки. Надання користувачам (лісництвам та ін.) інформації в сприятливих для них форматах.

3. Забезпечити можливість отримання даних ДЗЗ високої розрізненості, визначити зміни лісонасаджень, пов'язані з вирубками, згарищами, хворобами та іншими подіями.
4. Формування тематичних карт та заповнення геопорталів.

За описаною методикою були визначені температурні аномалії, вогнища та пожежі (рис.1.). за даними ДЗЗ з різних супутників.

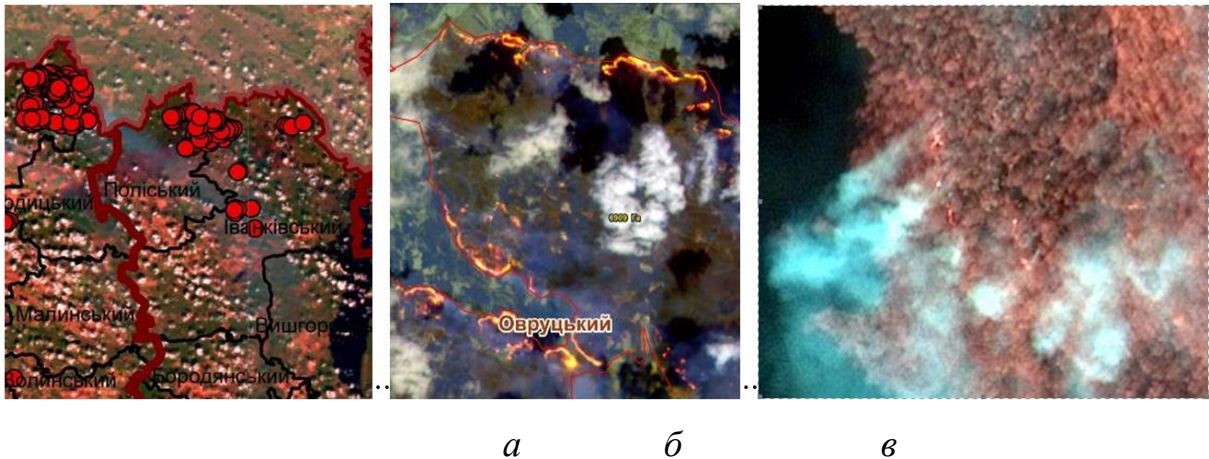


Рис.1. Приклади знімків з визначеними температурними аномаліями за даними MODIS (а), вогнищами за даними Sentinel-2 (б), пожежами за даними SuperView (в)

Використання космічних знімків у ІЧ діапазоні допомагає виявити температурні аномалії, які підтверджуються та уточнюються на знімках оптичного діапазону, що дозволяє виявити відкриті вогнища. Надалі здійснюється порівняння контуру та площ згарищ з космічного знімку з картою кадастру лісового фонду. Алгоритм процедури проведення оцінки наслідків лісових пожеж представлено на рис. 2.

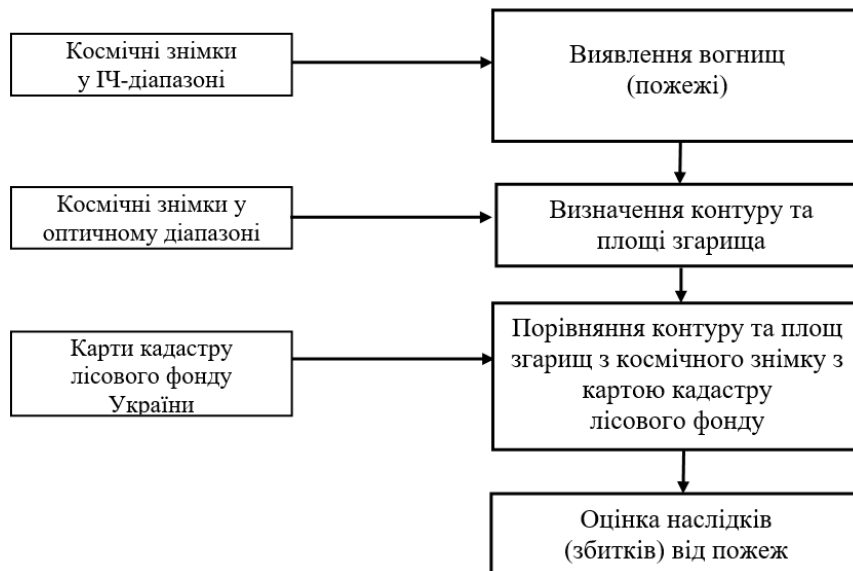


Рис. 2. Алгоритм процедури проведення оцінки наслідків лісових пожеж

Результати досліджень та їх обговорення. У результаті досліджень авторами впроваджено поняття «площа активних температурних аномалій», яка дозволяє попередньо визначати площі територій, постраждалих внаслідок пожеж у разі неможливості визначення їх остаточних значень (внаслідок хмарності, відсутності зйомки). Тобто цей показник показує мінімальну площу ділянок ушкоджених вогнем за визначеними температурними аномаліями (ТА) (рис.3).



Рис.3. Приклад карти площ активних температурних аномалій

Надалі для моніторингу змін стану лісонасаджень (вирубок, згарищ, сухостою) для автоматизованого їх визначення авторами запропоновано використання різночасових даних середньої просторової розрізненості (Sentinel-2) у вигляді

індексів вегетації нормалізовано-різницевих (NDVI) за формулою (5) для кожної з дат (рис. 4, а, б).

$$NDVI = (B4 - B2) / (B4 + B2), \quad (5)$$

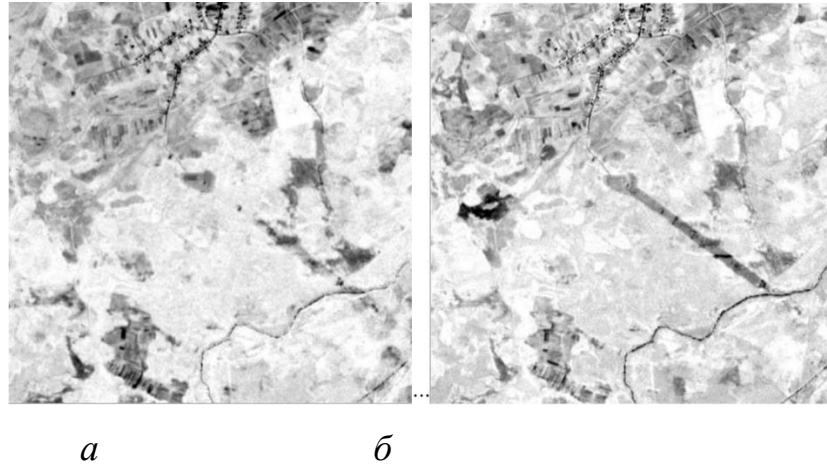


Рис.4. Застосування NDVI за 1-й день (а), за 2-й день (б)

У разі їх представлення у вигляді псевдо кольорового зображення (RGB) червоні відтінки вказують на ділянки з зменшеними показниками NDVI, зелені – збільшеними (рис. 5, а.). Надалі здійснюється класифікація з подальшою векторизацією ділянок зі зменшеними показниками NDVI як можливими вирубками (рис.4, б).

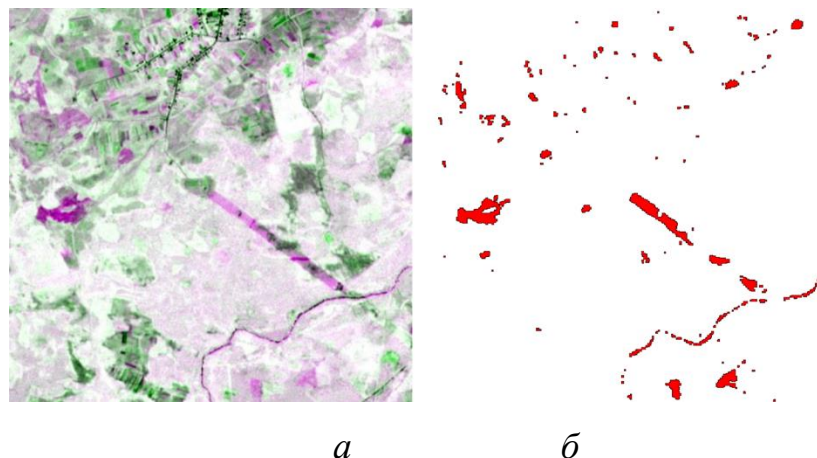


Рис.5. Застосування NDVI: псевдокольорове зображення (а), вектор ділянок зі змінами (б)

Для моніторингу змін лісонасаджень рекомендовано застосовувати знімки високої просторової розрізненості, наприклад, WorldView, Pleiades, EROS-B, Super

View, Quick-Bird. Використання цих даних разом з лісотаксаційними картами дозволяють ідентифікувати лісництва, квартали, виділи та породи дерев, які змінили свій стан (рис.6).

Використання даних ДЗЗ з великою кількістю мультиспектральних смуг з середньою просторовою розрізненістю на прикладі даних Sentinel-2 (S2) застосовуються для вдосконалення класифікації лісів за типами у середньо-великих масштабах. Отримані дані мають точність $> 83\%$ у всіх розглянутих типах лісів [9].

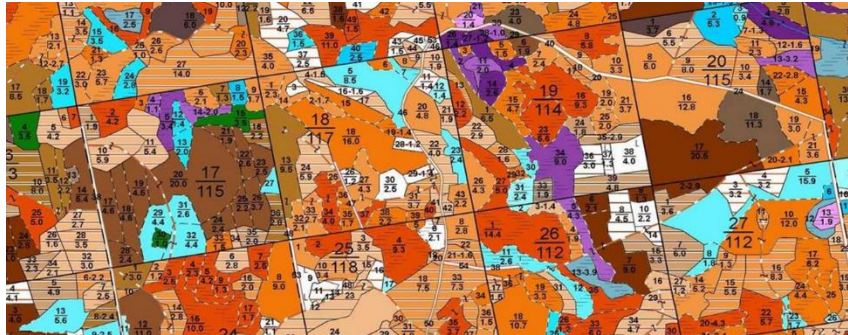


Рис.6. Фрагмент лісотаксаційної карти

У результаті оброблення цих космічних знімків визначаються місця та часові періоди змін окремих порід дерев і формуються: тематична карта змін лісонасаджень з указанням місць та площ (рис.7) та таблиця змін лісонасаджень по окремих породах дерев.

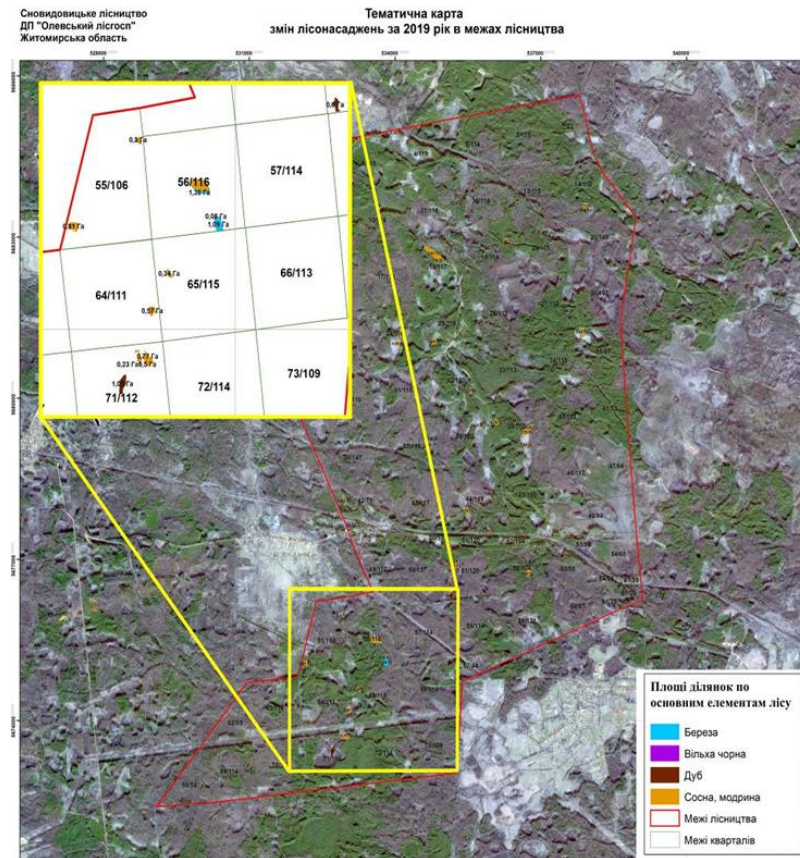


Рис.7. Тематична карта змін лісонасаджень.

Надалі було проведено аналіз даних отриманих в результаті космічної зйомки (табл.2), який показав, що серед порід дерев, що були на визначених ділянках, домінують сосна, модрина – 87 % (24,24 Га), далі дуб – 7 % (1,82 Га) та береза – 6 % (1,68 Га) і зовсім незначній вирубці підлягала вільха.

2. Приклад таблиці змін лісонасаджень по окремих породах дерев

№ з/п	Часовий період спостереження змін лісонасаджень	Породи дерев	Виявлена площа вирубок, га
1	23.02.-24.04.2019 р.	Сосна, модрина	1.08
		Береза	0.01
2	24.04.-29.08.2019 р.	Сосна, модрина	15.67
		Береза	1.58
		Дуб	1.79
		Вільха чорна	0.03

На наступному етапі здійснюється визначення економічних збитків, які були заподіяні внаслідок лісних пожеж. Для цього було виконано порівняльний аналіз контурів та площ згарища з картою кадастру лісового фонду України, з використанням основ програмної платформи ArcGIS. Аналогічно тому, як це проводилось з визначення розмірів площ та порід дерев при змінах стану лісонасаджень.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. У результаті дослідження авторами впроваджено поняття «площа активних температурних аномалій», яка дозволяє попередньо визначати площі територій, постраждалих внаслідок пожеж в разі неможливості їх фіксації через хмарність та відсутність зйомки з певного КА. Цей показник показує мінімальну площу ділянок ушкоджених вогнем за інтерпретованими температурними аномаліями.

2. За результатами дослідження науково-технічно обґрунтовано можливість застосування даних ДЗЗ з космічних апаратів для ефективного здійснення комплексного моніторингу лісового фонду з подальшим забезпеченням їх якісного контролю та прийняття управлінських рішень керівниками міністерств та відомств.

3. Доведено можливість визначення за даними ДЗЗ:

- температурних аномалій/ймовірних пожеж протягом 20 – 90 хвилин з моменту отримання знімку;
- вогнищ/загоряння протягом 10 – 24 годин;
- змін лісонасаджень (вирубок, згарищ, ділянок з сухою або хворою рослинністю) протягом 1 – 3 діб з моменту надання замовлення оператору обраної космічної системи високої просторової розрізненості.

4. Запропонована методика ДЗЗ за даними комірної зйомки великих площ територій лісових масивів з відповідною періодичністю дозволяє:

- виявляти зміни лісонасаджень;
- визначати часовий період, тип вирубок (сплошні або вибіркові) та породи дерев, які визнали змін;
- виявляти кордони ділянок та факти недотримання встановлених норм рубок;

- виявляти факти виникнення пожеж та визначати координати осередків вогнища, що призвели до пожежі;
- здійснювати спостереження за пожежами та прогнозувати можливість їх розповсюдження;
- здійснювати оцінку наслідків заподіяної шкоди (збитків) отриманих в наслідок пожеж.

Список використаних джерел

1. Інформація щодо лісистості України. (2018, 21 вересня). Державне агентство лісових ресурсів. <https://forest.gov.ua/>
2. Forest cover: international comparisons. (2018, January 1). (2018, 1 січня). Forest Research. <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/statistics/forestry-statistics/forestry-statistics-2018/international-forestry/forest-cover-international-comparisons/>
3. Вишняков В., Грушин О. Моніторинг лісонасаджень території України з використанням даних ДЗЗ. ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2017.
4. Публічний звіт Держлісагентства за 2019 рік. (2020, 5 березня). Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. <https://mepr.gov.ua/news/34682.html>
5. За три місяці 2020 року згоріло стільки ж трави й лісу, як за весь 2018 рік (Прес-служба «Інтер») Посилання на джерело: <https://vn.20minut.ua/Pres-sluzhby/za-tri-misyatsi-2020-roku-zgorilo-stilki-zh-travi-y-lisu-yak-za-ves-20-11051427.html>. (2020, 12 квітня). 20 хвилин. <https://vn.20minut.ua/Pres-sluzhby/za-tri-misyatsi-2020-roku-zgorilo-stilki-zh-travi-y-lisu-yak-za-ves-20-11051427.html>
6. Стриж С. (2018, 25 травня). Всихання легень країни: чому масово гинуть українські ліси та як їх врятувати? ГРАФІКА. Вежа. Вінницький інформаційний портал. <https://vezha.ua/vsyhannya-legen-krayiny-chomu-masovo-gynut-ukrayinski-lisy-ta-yak-yih-vryatuvaty-grafika/>
7. Указ Президента України від 9.07.2019 р. № 511/2019.(2019, 9 липня). Президент України. Офіційне інтернет-представництво. <https://www.president.gov.ua/documents/5112019-28301>
8. Mitchell, A. L., Rosenqvist, A., Mora, B. (2017). Current remote sensing approaches to monitoring forest degradation in support of countries measurement, reporting and verification (MRV) systems for REDD+. Carbon Balance Manage, 12(9), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0078-9>
9. Puletti, N., Chianucci, F., Castaldi, C. (2017). Use of Sentinel-2 for forest classification in Mediterranean environments. Annals of Silvicultural Research, 1–7. <https://doi.org/10.12899/asr-1463>
10. Murariu, G., Hahuie, V., Murariu, A., Georgescu, L., Iticescu, C., Calin, M., Preda, C., Buruiana, D. L., Carp, G. B. (2017). Forest monitoring method using combinations of satellite and UAV aerial images. Case study - Bălăbănești forest. International Journal of Conservation Science, 8(4), 703–714.

11. Szostak, M., Hawryło, P., Piela, D. (2017). Using of Sentinel-2 images for automation of the forest succession detection. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 142–149. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1412272>
12. Mildrexler, D. J., Zhao, M., Running, S. W. (2011). A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests. *Journal of geophysical research*, 116, 1–15. <https://doi.org/10.1029/2010JG001486>
13. Zhou, Z.-G., Tang, P., Zhou, M. (2016). Detecting anomaly regions in satellite image time series based on seasonal autocorrelation analysis. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3(3), 303–310. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-III-3-303-2016>
14. Sobrino, J. A., Julien, Y., Monteiro, S. G. (20). Surface Temperature of the Planet Earth from Satellite Data. *Remote sensing*, 12(218), 1–10. <https://doi.org/10.3390/rs12020218>
15. Zhichkina, L. N., Nosov, V. V., Zhichkin, K. A., Aydinov, H. T., Zhenzhebir, V. N., Kudryavtsev, V. V. (2020). Satellite monitoring systems in forestry. *Journal of Physics: Conference Series*, 1515, Стаття 032043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/3/032043>
16. Zhenyuan Xi, Dengsheng Lu, Lijuan Liu, Hongli Ge. (2016). Detection of Drought-Induced Hickory Disturbances in Western Lin An County, China, Using Multitemporal Landsat Imagery. *Remote sensing*, 8(345). <https://doi.org/10.3390/rs8040345>
17. Лісовий кодекс України, Закон України № 19 ст.99 (2020). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>
18. Overview. (б. д.). ESA Sentinel Online. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>
19. Костюченко Ю. В., Ющенко М., Копачевський І., Левинський С. Методика комплексної оцінки ризиків ландшафтних пожеж за даними супутникових спостережень. *Космічна наука і технологія*, 2011. 17(6). С. 30–44.
20. Епихин, А., Дорошенко, С., Николаев, А., Челюканов, А. В., Подрезов, Ю. В. Технология мониторинга лесных (торфяных) пожаров по данным космической съемки. Каталог "Пожарная безопасность", 2003. С. 248–251.
21. Justicea, C., Gigliob, L., Korontzia, S., Owens, J., Morisette, J., Roy, D., Descloitresb, J., Alleaumed, S., Petitcoline, F., Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 88(1-2), 244–262. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7)

References

1. Informatsiia shchodo lisystosti Ukrainy. (2018, 21 veresnia) [Information on the forests of Ukraine. (2018, September 21)]. Derzhavne ahentstvo lisovykh resursiv. <https://forest.gov.ua/>
2. Forest cover: international comparisons. (2018, January 1). Forest Research. <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/statistics/forestry-statistics/forestry-statistics-2018/international-forestry/forest-cover-international-comparisons/>

3. Vyshniakov, V., Hrushyn O. (2017). Monitorynh lisonasadzhen terytorii Ukrainy z vykorystanniam danykh DZZ. EKOHEOFORUM-2017. Aktualni problemy ta innovatsii. Ivano-Frankivskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet nafty i hazu.
4. Publichnyi zvit Derzhlisahentstva za 2019 rik. (2020, 5 bereznia). Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. <https://mepr.gov.ua/news/34682.html>
5. Za try misiatsi 2020 roku zghorilo stilky zh travy y lisu, yak za ves 2018 rik (Pres-sluzhba «Inter») Posylannia na dzherelo: <https://vn.20minut.ua/Pres-sluzhby/za-tri-misyatsi-2020-roku-zgorilo-stilki-zh-travi-y-lisu-yak-za-ves-20-11051427.html>. (2020, 12 kvitnia). 20 khvylyn. <https://vn.20minut.ua/Pres-sluzhby/za-tri-misyatsi-2020-roku-zgorilo-stilki-zh-travi-y-lisu-yak-za-ves-20-11051427.html>
6. Stryzh, S. (2018, 25 travnia). Vsykhannia lehen krainy: chomu masovo hynut ukrainski lisy ta yak yikh vriatuvaty? HRAFIKA. Vezha. Vinnytskyi informatsiyni portal. <https://vezha.ua/vsyhannya-legen-krayiny-chomu-masovo-gynut-ukrayinski-lisy-ta-yak-yih-vryatuvaty-grafika/>
7. Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 9.07.2019 r. № 511/2019.(2019, 9 lypnia). Prezydent Ukrainy. Ofitsiine internet-predstavnytstvo. <https://www.president.gov.ua/documents/5112019-28301>
8. Mitchell, A. L., Rosenqvist, A., Mora, B. (2017). Current remote sensing approaches to monitoring forest degradation in support of countries measurement, reporting and verification (MRV) systems for REDD+. Carbon Balance Manage, 12(9), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0078-9>
9. Puletti, N., Chianucci, F., Castaldi, C. (2017). Use of Sentinel-2 for forest classification in Mediterranean environments. Annals of Silvicultural Research, 1–7. <https://doi.org/10.12899/asr-1463>
10. Murariu, G., Hahuie, V., Murariu, A., Georgescu, L., Iticescu, C., Calin, M., Preda, C., Buruiana, D. L., Carp, G. B. (2017). Forest monitoring method using combinations of satellite and UAV aerial images. Case study - Bălăbănești forest. International Journal of Conservation Science, 8(4), 703–714.
11. Szostak, M., Hawryło, P., & Piela, D. (2017). Using of Sentinel-2 images for automation of the forest succession detection. European Journal of Remote Sensing, 51(1), 142–149. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1412272>
12. Mildrexler, D. J., Zhao, M., & Running, S. W. (2011). A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests. Journal of geophysical research, 116, 1–15. <https://doi.org/10.1029/2010JG001486>
13. Zhou, Z.-G., Tang, P., Zhou, M. (2016). Detecting anomaly regions in satellite image time series based on seasonal autocorrelation analysis. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3(3), 303–310. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-III-3-303-2016>
14. Sobrino, J. A., Julien, Y., & Monteiro, S. G. (20). Surface Temperature of the Planet Earth from Satellite Data. Remote sensing, 12(218), 1–10. <https://doi.org/10.3390/rs12020218>
15. Zhichkina, L. N., Nosov, V. V., Zhichkin, K. A., Aydinov, H. T., Zhenzhebier, V. N., Kudryavtsev, V. V. (2020). Satellite monitoring systems in

forestry. Journal of Physics: Conference Series, 1515, Стаття 032043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/3/032043>

16. Zhenyuan Xi, Dengsheng Lu, Lijuan Liu & Hongli Ge. (2016). Detection of Drought-Induced Hickory Disturbances in Western Lin An County, China, Using Multitemporal Landsat Imagery. Remote sensing, 8(345). <https://doi.org/10.3390/rs8040345>

17. Lisovyi kodeks Ukrainy, Zakon Ukrainy № 19 st. 99 [Forest Code of Ukraine, Law of Ukraine No. 19] (2020). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>

18. Overview. ESA Sentinel Online. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>

19. Kostiuchenko, Yu. V., Yushchenko, M., Kopachevskiy, I., Levynskiy, S. (2011). Metodyka kompleksnoi otsinky ryzykiv landshaftnykh pozhezh za danyymi suputnykovykh sposterezhen [Methodology for comprehensive risk assessment of landscape fires based on satellite observations]. Kosmichna nauka i tekhnolohiia, 17(6), 30–44.

20. Yepikhin, A., Doroshenko, S., Nikolayev, A., Chelyukanov, A. V., Podrezov, YU. V. (2003). Tekhnologiya monitoringa lesnykh (torfyanykh) pozharov po dannym kosmicheskoy s"yemki [Monitoring technology for forest (peat) fires based on satellite imagery data]. Katalog "Pozharnaya bezopasnost", 248–251.

22. 21. Justicea, C., Gigliob, L., Korontzia, S., Owens, J., Morisette, J., Roy, D., Descloitres, J., Alleaumed, S., Petitcoline, F., & Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. Remote Sensing of Environment, 88(1-2), 244–262. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7)

METHODOLOGY OF COMPREHENSIVE MONITORING OF THE FOREST FUND ACCORDING TO MODERN DATA OF THE FORESTRY AGENCY

S. Slastin, O. Opryshko, N. Pasichnik, K. Piskun, S. Shvorov

Abstract. *In a publication the presented complex of researches of monitoring of forest fund of Ukraine in relation to the exposure of places of origin of forest fires, volumes of burned areas, disafforestation after the use of data of the remote sensing of Earth (Super View, Sentinel-2, MODIS in certain spectral ranges). On the next stage comes true determinations of economic losses, that were caused in the consequence of forest fires with the use of comparative analysis of contours and areas of burned areas with data of cadastre of forest fund of Ukraine, on the basis of programmatic platform of ArcGIS. On the final stage – thematic maps are formed with the exact coordinates of areas of disappearance of woods and points of origin of hearths.*

The intensive loss of the forest planting in Ukraine during the last decades creates an environmentally dangerous situation in the regions of Ukraine, so there is a need for forest control and rapid fire prevention and elimination of forest diseases. The described technique will allow controlling forests with the subsequent application of all possible measures for the rational use and maintenance of forests. Given that received from spacecraft, it is recommended to immediately move to forestry to respond more quickly

and eliminate potentially close to the accident – forest fires. It is recommended to provide additional monitoring of other means and methods: surface supervision of forestry specialists, use of ground surveillance and unmanned aerial vehicles. The presented modern methodology of the satellite monitoring helps to educe the facts of origin of fires, determine the coordinates of cells of hearth, that resulted in a fire, define the changes of forestations: felling, burned areas, areas with a dry or sick vegetation during a 1 - 3 twenty-four hours after the grant of order to the operator of the space system (Super View). The use of remote sensing methodology helps to determine: temperature anomalies according to MODIS, fires according to Sentinel-2 and fires – Super View, as well as to monitor fires and predict the possibility of their distribution with an assessment of the consequences of fire damage.

Key words: *remote sensing of the Earth, Super View, Sentinel-2, MODIS, forestation, deforestation, temperature anomalies, forest fires*