

# Методика супутникового моніторингу вирубання лісів за даними Sentinel-2A/B

Дмитро Мозговий , Володимир Корчинський ,  
Дмитро Свинаренко 

**Purpose.** The main goal of the research was development and testing of the methodology of automated processing and analysis of multispectral satellite images of medium spatial resolution for the detection of deforestation. **Design / Method / Approach.** Experimental testing of the proposed methodology was carried out in the south-west of Ivano-Frankivsk region using free archival images of the visible and IR ranges from Sentinel-2A/B satellites. **Findings.** The results obtained during the conducted research confirmed the possibility and high efficiency of using images from Sentinel-2A/B satellites to detect and assess the dynamics of felling of wild and protected forests. In only one test area, the area of identified fellings in 2 years amounted to more than 300 hectares. **Theoretical Implications.** The advantages of using the normalized difference index of time changes NDI for a given pair of satellite images of different times and selected spectral channels is described. Thanks to NDI, the accuracy and stability of the results of the detection of temporal changes increases, as well as the influence of such factors as differences in the illumination of different time images, the presence of scattered clouds, etc., is reduced. **Practical Implications.** Due to the high degree of automation, the developed technique can be implemented as software in the form of a geo-informational web service that can function in the interests of a wide range of public services. **Originality / Value.** Necessary stages and sequence of processing remote sensing data were determined, and methods, algorithms and software tools for processing images were selected, and proprietary algorithms and programs were developed to increase the degree of automation and efficiency of image processing. **Research Limitations / Future Research.** This study was limited to the use of multispectral imagery from the Sentinel-2A/B satellites (MSI imager). Future studies involve the use of additional data from Landsat-7 (ETM+ imager), Landsat-8 (OLI imager), Landsat-9 (OLI-2 imager) and Terra (ASTER imager). **Paper Type.** Applied research, methodological article.

## Keywords:

satellite monitoring, Sentinel-2A/B, multispectral imagery, deforestation detection, automated image processing, normalized indices, change index (NDI)

## Contributor Details:

Dmytro Mozghovyi, Cand.Sc., Assoc.Prof., Oles Honchar Dnipro National University: Dnipro, UA, m-d-k@i.ua

Volodymyr Korchynskyy, Prof., Dr.Sc., Oles Honchar Dnipro National University: Dnipro, UA, korchins50k@i.ua

Dmytro Svyrenenko, Cand.Sc., Assoc.Prof., University of Customs and Finance: Dnipro, UA, svynarenko\_umsf@ukr.net



Забезпечення регулярного моніторингу великих лісових масивів є на сьогодні дуже важливим завданням для багатьох країн (Hnatushenko et al., 2017; Ye et al., 2021; Vanegas-Cubillos et al., 2022), і Україна не є виключенням. Наявність актуальної та достовірної інформації щодо лісових масивів дозволяє здійснювати ефективний контроль за дотриманням основних положень законодавства з охорони диких та заповідних лісів, а також чинних правил лісокористування (Bullock et al., 2020; Mozgovoy et al., 2017), наприклад:

- виявлення масових вирубок диких та заповідних лісів;
- визначення меж та динаміки зміни промислових вирубок;
- виявлення порушень чинних правил при виділенні ділянок під промислові або санітарні рубки;
- контроль господарської діяльності на територіях, що постраждали від вирубки лісів (Mozgoviy et al., 2007);
- аналіз наслідків вирубок, моніторинг динаміки та характеру змін (ерозія ґрунту, відновлення рослинності, зміна породного складу лісу, заболочування, опустелювання тощо).

Недосконале управління лісогосподарською та лісоохоронною діяльністю призводить до значного зменшення площі лісів, через що порушується баланс природних екосистем та зменшується біорізноманіття, погіршується якість ґрунту тощо. Після суцільних або непродуманих рубок схили втрачають здатність затримувати вологу, через що опади безперешкодно стікають у річки, викликаючи їх переповнення та розливи. При цьому значно підвищуються ризики повеней та паводків, а також виникає небезпека сходження снігових лавин чи селів. Крім того, переважна частина цих вирубок ведеться промисловим способом з використанням спецтехніки (зокрема незаконні масові браконьєрські вирубки на території заповідників). Навіть планові та санітарні вирубки ведуться з грубими порушеннями існуючих нормативів (наприклад, вирубування здорових дерев замість засохлих, групові вирубки на схилах тощо).

## Формулювання проблеми

Велика кількість несанкціонованих та браконьєрських вирубок лісу, а також їхня розосередженість на великих територіях обумовлює високу трудомісткість та недостатню оперативність проведення традиційних наземних методів контролю, таких як егерські обходи або автомобільне та кінне патрулювання.

Насамперед це відбувається через суттєву віддаленість переважної більшості таких вирубок від населених пунктів, низьку якість доріг або їхню відсутність, а також важкодоступність окремих ділянок, що особливо характерно для багатьох лісових масивів на території Карпатських гір. Регулярне повітряне патрулювання з використанням літаків та гелікоптерів занадто дороге навіть для невеликих територій, а безпілотні літальні апарати (БПЛА) не забезпечують необхідної площі покриття. Але найбільш проблемним місцем у завданнях контролю, як правило, є людський фактор (недбалість, злочинна бездіяльність, корупція тощо).

У Карпатах основні лісові масиви розосереджені на важкодоступних гірських та малонаселених територіях. При цьому переважна частина найбільших лісових масивів відрізняється значною віддаленістю від населених пунктів. Це зумовлює високу трудомісткість наземних методів спостережень (автомобільне та кінне патрулювання) через недостатньо щільну дорожню мережу. Регулярне повітряне патрулювання з використанням літаків та гелікоптерів занадто дороге навіть для невеликих територій, а БПЛА не забезпечують необхідної площі покриття.

Перераховані вище проблеми можуть бути ефективно вирішені за допомогою сучасних супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які в останні роки широко використовуються для вирішення широкого кола завдань екологічного моніторингу (Dolinet & Mozgovoy, 2009) та контролю надзвичайних ситуацій (Hnatushenko et al., 2016).

Це обумовлено численними перевагами ДЗЗ, такими як:

- абсолютна об'єктивність та висока достовірність (супутникові зображення дозволяють повністю виключити людські помилки, а також навмисне спотворення чи приховування важливої інформації);

- широка оглядовість і висока інформативність (можна спостерігати будь-яку навіть важкодоступну територію на Землі з охопленням у тисячі квадратних кілометрів);

- максимальна актуальність та висока оперативність (доставка даних користувачу без затримки безпосередньо на приймальні абонентські станції або з мінімальною затримкою через супутники-ретранслятори);

- одночасність та висока періодичність зйомки великих і протяжних територій (до декількох знімків на добу);

- комплексність та багатодисциплінарність (використання тих самих знімків при вирішенні широкого спектра наукових та прикладних завдань на користь різних державних структур та приватних компаній);

- багатоспектральний характер спостережень (зйомка у кількох спектральних каналах у видимому та ІЧ діапазонах, а також у радіочастотних діапазонах);

- повна безпека (відсутність ризиків для здоров'я та життя людей);

- висока економічна ефективність (значно менші витрати порівняно з наземними методами та аерозйомкою);

- максимальна доступність та конфіденційність (простота отримання даних та мінімізація ризиків витоку інформації) (EOS DA, 2024).

Питанням супутникового моніторингу вирубок диких та заповідних лісів в Україні в останні роки приділяється чимало уваги, що зумовлено величезними масштабами та важкими екологічними наслідками такої діяльності. Незважаючи на актуальність даної тематики та досить докладний опис методів наземних та дистанційних досліджень, їхнє практичне застосування дуже обмежене, особливо на регіональному та локальному рівнях. Одним із основних стримувальних факторів тут, мабуть, є висока вартість необхідного програмно-технічного та інформаційного забезпечення. Наведені в більшості публікацій методики передбачають використання дорогого комерційного програмного забезпечення та вимірювального обладнання, а також закупівлі

супутникових знімків високого просторового розрізнення, вартість яких може становити десятки тисяч доларів, що для більшості потенційних користувачів є неприйнятним. Тому залишається актуальним завдання розробки методики супутникового моніторингу вирубок диких та заповідних лісів, доступної масовим користувачам та орієнтованої на використання безкоштовного програмного забезпечення та безкоштовних супутникових знімків, доступних в мережі Інтернет.

## Мета та завдання

Основною метою досліджень є розробка та тестування методики автоматизованої обробки та аналізу багатоспектральних супутникових знімків середнього та високого просторового розрізнення з метою виявлення та оцінки динаміки великих вирубок диких та заповідних лісів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- оцінити (з точки зору достовірності, детальності та оперативності) можливість використання безкоштовних багатоспектральних супутникових знімків середнього, високого та надвисокого просторового розрізнення, доступних у мережі Інтернет (як архівних, так і актуальних), для проведення регулярного супутникового моніторингу лісових масивів;

- розробити методику автоматизованого виявлення великих вирубок лісових масивів із використанням безкоштовних багатоспектральних знімків середнього просторового розрізнення, доступних у мережі Інтернет (Myroniuk et al., 2022);

- провести тестування та експериментальне відпрацювання розробленої методики в районах масових вирубок диких та заповідних лісових масивів Карпат на південному заході Івано-Франківської та південному сході Закарпатської областей;

- визначити попередні якісні характеристики розробленої методики на різних тестових ділянках обраної території моніторингу, у тому числі її відтворюваність та стійкість (Makarov et al., 2021);

- визначити попередні кількісні характеристики результатів автоматизованого виявлення вирубок лісових масивів на різних тестових ділянках (мінімальна площа нової групової вирубки, що виявляється, і похибка визначення географічних координат меж вирубок);

- дослідити вплив щільної хмарності на оперативність та регулярність супутникового моніторингу, а також оцінити необхідність застосування високоточних масок хмарності для автоматизованого виявлення вирубок лісових масивів (Mozgovoy & Hnatushenko, 2020).;

- оцінити можливість та ефективність використання безкоштовних всепогодних радарних знімків із супутників Sentinel-1A/B як додаткові дані ДЗЗ при суттєвому покритті хмарністю території моніторингу в період спостережень;

- оцінити можливість використання RGB-знімків високої та надвисокої просторової роздільної здатності, доступних у мережі Інтернет, для засвідчення та валідації розробленої методології (Makarov et al., 2021).

## Дані та методи

Для проведення регулярного супутникового моніторингу вирубок лісів можливе використання безкоштовних мультиспектральних знімків середнього просторового розрізнення (Zhu, 2017; Wulder et al., 2019; Bilousov et al., 2022) із супутників Landsat-7 (знімальний прилад ETM+), Landsat-8 (знімальний прилад OLI), Landsat-9 (знімальний прилад OLI-2) та Terra (знімальний прилад ASTER), які керуються NASA та USGS (США), а також оптичних та радарних даних ДЗЗ, отриманих із нових супутників європейської системи ДЗЗ Copernicus (Mozgovoy et al., 2021): Sentinel-1A/B (знімальний прилад SAR-C) та Sentinel-2A/B (знімальний прилад MSI). Основні характеристики супутників та знімальної апаратури наведено у таблиці 1.

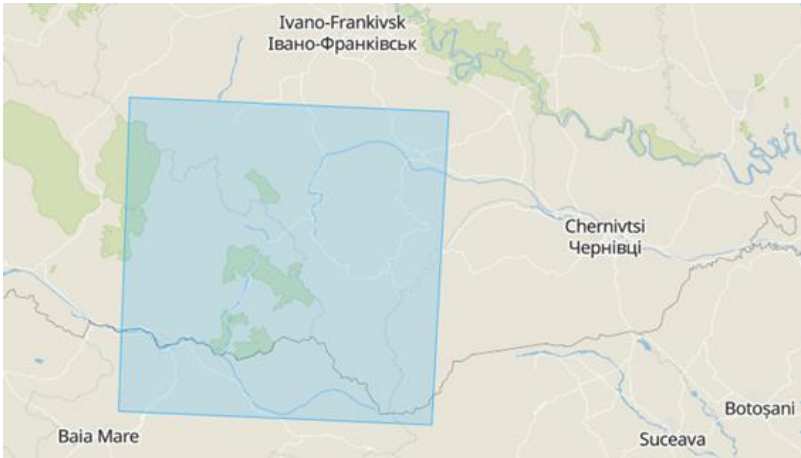
**Таблиця 1 – Основні характеристики супутників та знімальної апаратури**  
(Джерело: Eoportal, 2024; Cohen et al., 2017; Vermote et al., 2016)

Характеристики супутника	Landsat-7	Landsat-8 Landsat-9	Terra	Sentinel-1A, Sentinel-1B	Sentinel-2A, Sentinel-2B
Знімальний прилад	ETM+	OLI+TIRS	ASTER	SAR-C	MSI
Смуга захоплення, км	184	<b>184</b>	60	80/240	290
Кількість спектральних каналів (для SAR – види поляризації)	PAN-1 VNIR – 4 SWIR – 2 TIR – 1	PAN-1 VNIR – 5 SWIR – 3 TIR – 2 Cirrus – 2	NIR – 1 SWIR – 6 TIR – 5	VV VH HV HH	VNIR – 8 SWIR – 2 Cirrus – 3
Просторове розрізнення, м (смуга огляду для SAR)	PAN - 15 VNIR-30 SWIR – 30 TIR – 60	PAN - 15 VNIR-30 SWIR – 30 TIR - 100	VNIR – 15 SWIR – 30 TIR-90	5x5 (80км) 5x20 (240км)	VNIR – 10 SWIR – 20 Cirrus - 60
Радіометричне розрізнення, біт	8	12	8	10	12
Точність геоприв'язки, м	30	20	20	10	10
Періодичність зйомки, доба	16	16	20	12	10
Дата запуску	15.04.1999	11.02.2013 27.09.2021	18.12.1999	03.04.2014 26.04.2016	23.06.2015 07.03.2017
Оператор	NASA та USGS (США)			ESA	

Територія спостережень, обрана для проведення досліджень – дікі та заповідні ліси Карпатських гір, що розташовані на південному заході Івано-Франківської області (рис. 1).

Для проведення досліджень були використані архівні мультиспектральні знімки видимого та ІЧ-діапазонів із супутників Sentinel-2A/B (ESA, 2024; Flood et al., 2017; Claverie et al., 2018), отримані по вибраній території моніторингу за 2015...2018 роки.

Загалом було досліджено 15 тестових ділянок з вирубками.



**Рисунок 1 – Територія спостережень, обрана для досліджень (показані контури використаних знімків із супутників Sentinel-2A/B)**

Фрагменти вихідних знімків тестової ділянки №1 у районі р. Мокрянка із супутника Sentinel-2A за 2015...2018 роки наведено на рис. 2.



**Рисунок 2 – Фрагменти вихідних знімків тестової ділянки №1**

Знімки тестової ділянки №1 за 2015 та 2017 роки були практично без хмарності, а знімки за 2016 та 2018 роки мали невеликий відсоток хмарності. Тому для коректного порівняння різночасних знімків та точного визначення площі вирубок лісу виникла потреба маскуванню хмарних пікселів з використанням масок хмарності та тіні (Foga et al., 2017), створених за окремо розробленим алгоритмом.

У ході робіт були використані як теоретичні, так і практичні методи досліджень.

Теоретична частина досліджень включала:

- аналіз технічних характеристик бортової знімальної апаратури MSI, а також вивчення особливостей зйомки та обробки даних ДЗЗ із супутників Sentinel-2A/B (Copernicus, 2024);

- визначення основних етапів та послідовності обробки даних ДЗЗ, вибору методів, алгоритмів та програмних інструментів обробки супутникових знімків видимого та ІЧ-діапазонів (Vogelmann et al., 2016);

- розробку власних алгоритмів, програм та скриптів для підвищення ступеня автоматизації та оперативності обробки знімків, а також з метою покращення інтерфейсу взаємодії з користувачем.

Експериментальна частина виконаних досліджень включала:

- пошук, аналіз та вибір відповідних для практичної частини досліджень даних ДЗЗ із супутників Sentinel-2A/B по обраних тестових ділянках з урахуванням сезону зйомки, площі та кратності покриття, а також відсотка хмарності;

- проведення автоматизованого виявлення вирубок лісових масивів для вибраних тестових ділянок та різних дат зйомки;

- подальше порівняння отриманих результатів з результатами візуального дешифрування вирубок лісових масивів, виконаного за тими самими знімками та тестовими ділянками;

- оцінку точності та достовірності автоматизованого виявлення вирубок лісових масивів за знімками із супутників Sentinel-2A/B, використовуючи як еталони супутникові знімки високого та надвисокого просторового розрізнення, які були зроблені у видимому діапазоні для тих самих територій за найближчі дати.

Зважаючи на вищевикладене, супутниковий моніторинг вирубок диких та заповідних лісів в Україні для обраної території спостережень проводився у два етапи:

- оглядовий моніторинг за мультиспектральними знімками середнього просторового розрізнення із супутників Sentinel-2A/B (виконувалося автоматизоване оброблення даних ДЗЗ по всій території спостережень);

- детальний моніторинг за архівними RGB-знімками високого та надвисокого просторового розрізнення (проводився візуальний аналіз даних ДЗЗ по окремих тестових ділянках).

Для детального моніторингу були використані знімки субметрового розрізнення з різних геоінформаційних веб-сервісів (Gorelick et al., 2017).

Процедури обробки вихідних супутникових знімків, необхідні виявлення змін рослинності, були розбиті на три етапи:

- попередню обробку різночасних супутникових знімків, однакову для старого та нового знімка, що включає стандартні операції (вибір фрагментів сцен за координатами обраних тестових ділянок, вибір потрібних спектральних каналів, аналіз масок хмарності та тіні, та ін.);

- тематичну обробку нормалізованих супутникових знімків, що включає обрізання сцени по області інтересу, фільтрацію малорозмірних об'єктів,

розрахунок нормалізованих різницевих вегетаційних індексів (NDVI), нормалізований різницевий індекс часових змін (NDI) для старого та нового знімка (Hnatushenko et al., 2019), двопорогову бінаризацію, морфологічну та об'єктну фільтрацію, а також векторизацію розпізнаних змін;

- оцінку стійкості та повторюваності запропонованої методики на різних тестових ділянках, а також визначення кількісних характеристик точності автоматизованого розпізнавання рослинних об'єктів.

При цьому процедури попередньої обробки супутникових знімків виконували повністю в автоматичному режимі (без участі оператора), а процедури тематичної обробки - в автоматизованому режимі з мінімумом ручних налаштувань.

Нормалізований різницевий індекс часових змін NDI для заданої пари різночасних супутникових знімків та вибраних спектральних каналів розраховується за формулою:

$$NDI_i = (B_{i\ new} - B_{i\ old}) / (B_{i\ new} + B_{i\ old}),$$

де:  $i$  - номер спектрального каналу;  $new$  та  $old$  - індекси більш раннього та більш пізнішого знімків.

Завдяки використанню нормалізованої різниці NDI, а не міжканальної різниці або простого відношення каналів, суттєво збільшується точність та стійкість результатів виявлення часових змін. Крім того, це дозволяє зменшити вплив таких побічних факторів, що впливають, як відмінності в освітленості різночасних знімків, наявність розсіяної хмарності, аерозольної серпанки, поглинання радіації атмосферою та ін.

Виявлення нових вирубок за різночасними мультиспектральними знімками із супутників Sentinel-2A/B виконується шляхом вирішення для кожного пікселя зображення системи нерівностей  $NDI_{red} \geq T_{red}$ ,  $NDI_{green} \geq T_{green}$ ,  $NDI_{blue} \geq T_{blue}$ ,  $NDI_{nir} \geq T_{nir}$ , де  $T_{red}$ ,  $T_{green}$ ,  $T_{blue}$ ,  $T_{nir}$  - порогові значення виявлення змін для відповідних спектральних каналів.

Для візуальної оцінки площі вирубки лісів на кожному знімку було виконано спектральний синтез RGB-комполітів з використанням видимих каналів та ІЧ діапазонів. На синтезованих зображеннях ділянки вирубок чітко виділяються на тлі рослинності завдяки використанню каналів ІЧ-діапазону (рис. 3).

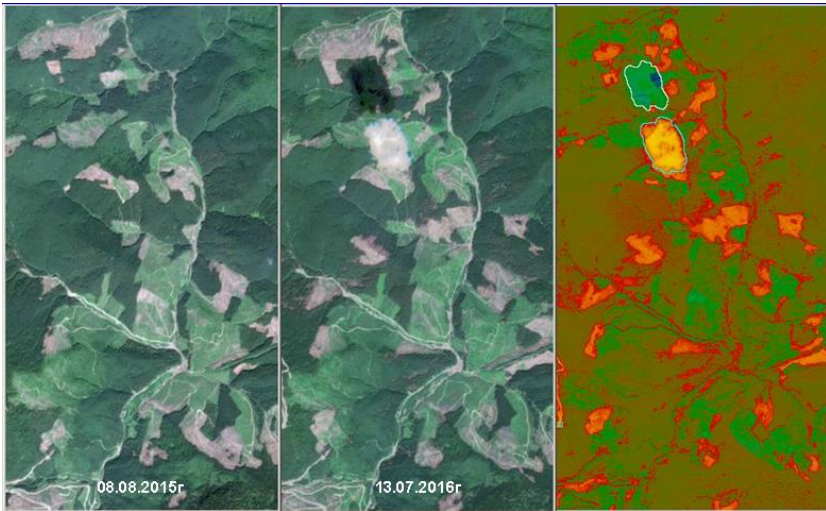
## Обговорення та результати

Результати проведених досліджень підтвердили можливість та досить високу ефективність використання безкоштовних багатоспектральних знімків із супутників Sentinel-2A/B для виявлення та оцінки динаміки змін великих вирубок диких та заповідних лісів. Лише на тестовій ділянці №1 площа виявлених вирубок склала понад 300 га за період між 08.08.2015р та 15.08.2017р.

Попередні кількісні характеристики розробленої методики такі:

- мінімальна площа нової групової вирубки 0,3 га;
- похибка визначення координат меж вирубок  $\pm 10$  м.





**Рисунок 3 – Візуалізація часових змін за двома знімками (тестова ділянка №1)**

У ході експериментального відпрацювання запропонована методика також показала досить високі якісні характеристики, а саме:

- хорошу відтворюваність методики (була отримана висока достовірність результатів автоматизованого розпізнавання вирубок на різних тестових прикладах);

- досить високу стійкість алгоритмів, що використовуються (незначні відхилення у вхідних даних або в налаштуваннях процедур обробки не призводили до значних відхилень у результатах обробки).

Аналіз результатів обробки знімків показав досить високу точність виділення меж розпізнаних вирубок на різних тестових ділянках при тих самих налаштуваннях порогів бінарizaції. При цьому точність розпізнавання та автоматичної класифікації вирубок (Hnatushenko et al., 2019) без урахування похибок еталона для різних тестових ділянок була в межах 80...95%, а значення коефіцієнта Каппа були в межах від 0.67 до 0.83.

Основною проблемою здійснення оперативного та регулярного супутникового моніторингу лісових масивів з метою своєчасного виявлення нових вирубок є наявність високого відсотка щільної хмарності (від 20% до 80%) майже на 50% наявних знімків, що потребує розробки методики створення високоточних масок хмарності та тіні з використанням відповідних спектральних каналів. Для підвищення оперативності отримання даних по території моніторингу з урахуванням фактичної хмарності доцільно поряд із супутниковими знімками Sentinel-A/B використовувати знімки із супутників Landsat-8 (знімальний прилад OLI) та Landsat-9 (знімальний прилад OLI-2). Використання всепогодних радарних даних із супутників Sentinel-1A/B для цих задач не завжди було достатньо ефективним через їхню гіршу детальність і високий рівень шумів.

## Посилання

- Bilousov, K. H., Nechyporuk, M. V., Khoroshylov, V. S., Svyarenko, D. M., Mozgovoy, D. K., & Popel, V. M. (2022). Method of automated correction of instrument distortions on Landsat-7 multispectral satellite images. *Kosmična Nauka i Tehnologija*, 28(3), 17–28. <https://doi.org/10.15407/knit2022.03.017>
- Bullock, E. L., Woodcock, C. E., & Olofsson, P. (2020). Monitoring tropical forest degradation using spectral unmixing and Landsat time series analysis. *Remote Sensing of Environment*, 238, 110968. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.011>
- Claverie, M., Ju, J., Masek, J. G., Dungan, J. L., Vermote, E. F., Roger, J.-C., Skakun, S. V., & Justice, C. (2018). The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sensing of Environment*, 219, 145–161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.002>
- Cohen, W., Healey, S., Yang, Z., Stehman, S., Brewer, C., Brooks, E., Gorelick, N., Huang, C., Hughes, M., Kennedy, R., Loveland, T., Moisen, G., Schroeder, T., Vogelmann, J., Woodcock, C., Yang, L., & Zhu, Z. (2017). How Similar Are Forest Disturbance Maps Derived from Different Landsat Time Series Algorithms? *Forests*, 8(4), 98. <https://doi.org/10.3390/f8040098>
- Copernicus. (2024). *A European wide-swath, high-resolution, multi-spectral imaging mission Sentinel-2*. Copernicus. <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2>
- Dolinets, J., & Mozgovoy, D. (2009). Training of specialists in the field of Earth remote sensing. *Acta Astronautica*, 64(1), 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.06.006>
- Eoportal. (2024). *Satellite Missions catalogue*. Eoportal.org. <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>
- EOS DA. (2024). *EOSDA's Satellite Intel Reveals The Scale Of Saamaka's Newest Forest Crisis*. EOS Data Analytics. <https://eos.com/blog/decades-long-story-of-saamaka-the-forest-defenders/>
- ESA. (2024). *Sentinel-2 Colour vision for Copernicus*. ESA. [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2)
- Flood, N. (2017). Comparing Sentinel-2A and Landsat 7 and 8 Using Surface Reflectance over Australia. *Remote Sensing*, 9(7), 659. <https://doi.org/10.3390/rs9070659>
- Foga, S., Scaramuzza, P. L., Guo, S., Zhu, Z., Dilley, R. D., Beckmann, T., Schmidt, G. L., Dwyer, J. L., Joseph Hughes, M., & Laue, B. (2017). Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products. *Remote Sensing of Environment*, 194, 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.026>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hnatushenko, V. V., Hnatushenko, V., Mozgovoy, D. K., & Vasyliiev, V. V. (2016). Satellite technology of the forest fires effects monitoring. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (1), 70-76. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2016\\_1\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2016_1_13)
- Hnatushenko, V. V., Mozgovoy, D. K., Vasyliiev, V. V., & Kavats, O. O. (2017). Satellite monitoring of consequences of illegal extraction of amber in Ukraine. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (2), 99-105. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2017\\_2\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_2_17)
- Hnatushenko, V. V., Mozhovyi, D. K., & Vasyliiev, V. V. (2017). Satellite monitoring of deforestation as a result of mining. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (5), 94-99. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2017\\_5\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_5_16)
- Makarov, A. L., Belousov, K. G., Svinarenko, D. N., Khoroshylov, V. S., Mozgovoy, D. K., & Popel, V. M. (2021). Automatized recognition of urban vegetation and water bodies by

- Jilin-1A satellite images. *Kosmična Nauka i Tehnologija*, 27(4), 42–53. <https://doi.org/10.15407/knit2021.04.042>
- Mozgoviy, D. K., Parshyna, O. I., Voloshyn, V. I., & Bushuyev, Y. I. (2007). Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine. In *Geographic Uncertainty in Environmental Security* (pp. 259–270). Dordrecht: Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6438-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6438-8_16)
- Mozgovoy, D. K., Svinarenko, D. N., Leong, Y. R., Zhigalov, K. Y., Tsarev, R. Y., Yamskikh, T. N., & Bystrova, N. V. (2019). Automated detection of deforestation based on multi-spectrum satellite data. *Journal of Physics: Conference Series*, 1399(4), 044101. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044101>
- Mozgovoy, D., & Hnatushenko, V. (2019, September). Information technology of satellite image processing for monitoring of floods and drought. In *Conference on Computer Science and Information Technologies* (pp. 473–487). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_32)
- Mozgovoy, D., Tsarev, R., Korchynskiy, V., Tynchenko, V., Dyachuk, P., Danichev, A., Knyazkov, A., Kapustina, S., & Bakwa, D. D. (2021, April). Processing of Radar and Optical Images for Monitoring Natural and Anthropogenic Emergencies. In *Computer Science On-line Conference* (pp. 607–620). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77448-6\\_60](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77448-6_60)
- Myroniuk, V., Bell, D. M., Gregory, M. J., Vasylyshyn, R., & Bilous, A. (2022). Uncovering forest dynamics using historical forest inventory data and Landsat time series. *Forest Ecology and Management*, 513, 120184. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120184>
- Vanegas-Cubillos, M., Sylvester, J., Villarino, E., Pérez-Marulanda, L., Ganzenmüller, R., Löhr, K., Bonatti, M., & Castro-Nunez, A. (2022). Forest cover changes and public policy: A literature review for post-conflict Colombia. *Land Use Policy*, 114, 105981. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105981>
- Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>
- Vogelmann, J. E., Gallant, A. L., Shi, H., & Zhu, Z. (2016). Perspectives on monitoring gradual change across the continuity of Landsat sensors using time-series data. *Remote Sensing of Environment*, 185, 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.060>
- Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Belward, A. S., Cohen, W. B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J. D., Hostert, P., Hughes, M. J., ... Zhu, Z. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225, 127–147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>
- Ye, S., Rogan, J., Zhu, Z., & Eastman, J. R. (2021). A near-real-time approach for monitoring forest disturbance using Landsat time series: stochastic continuous change detection. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112167. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112167>
- Zhu, Z. (2017). Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 370–384. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.013>