



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.4.273>

УДК 528.8+630

## Визначення самозаліснених ділянок за даними ДЗЗ

С. І. Горелик\*, Р. С. Сич, Д. К. Саул-Гозе

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”, м. Харків, Україна*

Військова агресія російської федерації завдає колосальних збитків екосистемам України, руйнуючи природні ресурси й біорізноманіття. Зокрема, втрати лісового фонду станом на січень 2024 р. оцінюються в 4,5 мільярда доларів. Під час бойових дій знищуються не лише інвентаризовані лісові ділянки, але й самозаліснені території, які не враховані під час оцінювання збитків. Отже, актуальним завданням є ідентифікація самозаліснених ділянок з визначенням їх геометричних характеристик та підрахунком імовірної кількості дерев. Територією дослідження обрано підконтрольну Україні Донецьку й Луганську області станом до 22.02.2024 р. Поставлене завдання реалізувалось за допомогою контактних і дистанційних методів. У дослідженні використано такі дані, отримані контактними методами: векторний шар лісових ділянок, які знаходяться на обліку в Державному агентстві лісових ресурсів, Публічна кадастрова карта України й відкритий реєстр лісорубних квитків. Ці дані дають змогу відразу виявити інвентаризовані лісові ресурси. Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), а саме різночасові космічні знімки у видимому діапазоні високого і надвисокого просторового розрізнення, синтезована карта індексів NDVI дають змогу оперативно визначати ділянки лісового покриття. Комплексне використання контактних і дистанційних даних дає змогу визначати ділянки самозаліснення з мінімальними часовими й матеріальними витратами. Межі цих ділянок з розрахунком їх площ та кількості дерев визначались проводилось за допомогою ліцензійного геоінформаційного (ГІС) програмного забезпечення ArcGIS. Використання ГІС-технологій дало змогу одночасно опрацювати геодані отримані контактними й дистанційними методами дослідження та проаналізувати лісові ділянки з метою визначення необлікованих ресурсів. Завдяки розробленій методиці визначення самозаліснених ділянок за даними ДЗЗ виявлено більше 10 тис. ділянок загальною площею 505,37 км<sup>2</sup>. Орієнтовна кількість дерев на цих ділянках – 3287,2 тис. Отримані дані надалі можуть бути використані для точнішого підрахунку збитків від військової агресії.

**Ключові слова:** ДЗЗ, ГІС, самозаліснення, NDVI, ArcGIS, картографічна модель.

© С. І. Горелик, Р. С. Сич, Д. К. Саул-Гозе. 2024

### Вступ

Повномасштабне вторгнення РФ в Україну, яке почалося 22.02.2022 р., спричинило катастрофічні наслідки як для людей, так і для екосистем. Заподіяна шкода від військових дій станом на січень 2024 р. оцінюється орієнтовно у 155 млрд дол., з яких на лісовий фонд припадає 4,5 млрд дол. (Загальна сума збитків, 2024). При підрахунку збитків лісовому фонду враховувалися тільки ті постраждалі ділянки, які знаходяться на обліку Державного агентства лісових ресурсів України. Під час військових дій були знищені також неінвентаризовані лісові ділянки, збитки від яких не були враховані. Ці ділянки згідно із законодавством України (Закон України, 2022) належать до самозаліснених. У статті 57<sup>1</sup> Закону України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо збереження лісів” дається визначення: “Самозаліснена ділянка – це земельна ділянка будь-якої категорії земель (крім земель лісгосподарського призначення, природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення) площею понад 0,5 гектара, вкрита частково чи повністю лісовою рослинністю, заліснення якої відбулося природним

шляхом” (Закон України, 2022). Отже, визначення геометричних характеристик ділянок самозаліснення з імовірною оцінкою кількості дерев є актуальним завданням для уточнення збитків, завданих воєнною агресією РФ.

Це дослідження планувалося та почало виконуватися ще у 2021 році. На той час актуальність була пов’язана з інвентаризацією неврахованих ділянок самозаліснення для подальшого обліку й управління цими ресурсами Державним агентством лісових ресурсів України.

Територією дослідження було обрано підконтрольну Україні Донецьку та Луганську області до початку повномасштабного вторгнення росії (до 22.02.2024 р.).

Визначити місцезнаходження ділянок самозаліснення з подальшим розрахунком їх геометричних характеристик можна, використовуючи контактні і дистанційні методи дослідження. Контактні методи дослідження поділяються на польові й камеральні. Польові методи полягають у візуальному визначенні на місцевості самозаліснених ділянок. Ці методи є неефективними у зв’язку з великими розмірами території дослідження та значними часовими й матеріальними витратами, а під час військових дій – небезпечними. Камеральні

\*E-mail: [s.horelik@khai.edu](mailto:s.horelik@khai.edu)

методи дають змогу визначити території з інвентаризованими лісовими масивами, щоб надалі ідентифікувати ділянки самозаліснення.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є ефективним інструментом дослідження для ідентифікації й локалізації лісових масивів на великих територіях. Багато дослідників (Francini S. et al., 2023) відзначають ефективність використання даних ДЗЗ для визначення лісових ресурсів у поєднанні з геоінформаційними технологіями (Mani J. K., Varghese A. O., 2018; Pashchenko R. et al., 2020; Горелик С.І. та ін., 2023). Великою перевагою дистанційних методів є наявність дистанційних даних, які знаходяться у відкритому доступі (Wulder M. A., Coops N. C., 2014; Francini S., Chirici G. A., 2022; Nabuurs G.-J. et al., 2022). Автоматизація процесу дешифрування знімків за допомогою спеціального програмного забезпечення (Марюшко М. В. та ін., 2020) та/або різних мов програмування (Raza A. et al., 2024) дає змогу значно скоротити часові витрати, але їх точність є недостатньою для оцінювання збитків. Сучасні можливості застосування штучного інтелекту (Kussul N. et al., 2020) для визначення самозаліснених ділянок за космічними знімками мають низку обмежень, пов'язаних з неможливістю використання різнорідних й різночасових дистанційних даних, їх специфічними геометричними характеристиками та недостатньо високою точністю.

Комплексне використання даних дистанційного зондування й контактних методів дає змогу ефективно визначити самозаліснені ділянки з мінімальними часовими і матеріальними витратами. Отже, метою статті є розроблення методики визначення ділянок самозаліснення з імовірною оцінкою кількості дерев за даними дистанційного зондування.

## Матеріали та методи дослідження

Головними завданнями дослідження є:

аналіз наявних контактних і дистанційних даних для визначення ділянок самозаліснення й методів їх оброблення;

розроблення методики визначення ділянок самозаліснення з імовірним оцінюванням кількості дерев за допомогою геоінформаційних технологій;

практична реалізація розробленої методики на прикладі підконтрольних територій Луганської та Донецької обл. (до 22.02.2022 р.).

### 1. Аналіз вхідних даних для визначення ділянок самозаліснення

Аналіз наявних відкритих джерел інформації показав, що станом на 22.02.2022 р. є необхідні дані для проведення дослідження. У дослідженні використані такі дані:

1) контактні дані:

Публічна кадастрова карта України (до 22.02.2022 року);

шейп-шар з адміністративними кордонами Донецької та Луганської обл. підконтрольних Україні станом на 22.02.2022 р.;

відкритий реєстр лісорубних квитків;

2) дані дистанційного зондування Землі: космічні знімки із супутника Sentinel-2; базова карта ArcGIS (угруповання супутників DigitalGlobe);

#### 1.1. Контактні дані

Для визначення власне самозаліснених ділянок використовувались просторові геодані з Публічної кадастрової карти України (Публічна кадастрова карта України, 2022), які були під'єднані як WMS-сервіс до ГІС-проєкту. Дослідження виконувалось до початку російської збройної агресії проти України, коли Публічна кадастрова карта була у відкритому доступі.

Просторові межі області дослідження визначалися за адміністративними кордонами (обласного й районного рівнів) підконтрольних територій Луганської та Донецької обл. станом на 22.02.2022 року. Векторний шар у форматі “shp” з цими геоданими отриманий у вільному доступі (The Humanitarian Data Exchange, 2022).

Межі інвентаризованих лісових масивів визначалися за даними відкритого реєстру лісорубних квитків (Відкритий реєстр лісорубних квитків, 2022).

#### 1.2. Дані дистанційного зондування Землі

На етапі планування дослідження аналізувалися дані ДЗЗ, які знаходяться у відкритому доступі для некомерційного використання. У розробленій методиці для виявлення самозаліснених ділянок використані такі дані:

ортофотоплан підконтрольних територій Луганської та Донецької обл. до 22.02.2022 року;

архівні та сучасні космічні знімки території досліджень з надвисоким просторовим розрізненням у видимому діапазоні (0,3–1 м/піксель);

знімки в каналах R (червоний діапазон – 620...700 нм) і NIR (ближній інфрачервоний діапазон – 700...1300 нм) для визначення індексів NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Ортофотоплан області дослідження створений за космічними знімками із супутника Sentinel-2 (Copernicus: Sentinel-2, 2022) у видимому діапазоні з порталу Copernicus Open Access Hub (Copernicus Open Access Hub, 2022). Роздільна здатність отриманого ортофотоплану становить 10 метрів на піксель (Рис. 1).

Доступ до космічних знімків з надвисокою роздільною здатністю до 0,3 м/піксель наявний у середовищі ArcGIS у шарах Basemap (Basemap layers, 2022). У цьому шарі знаходяться космічні знімки із супутників компанії DigitalGlobe.

Карта індексів NDVI отримана на основі даних із супутника Sentinel-2. Просторова роздільна здатність цієї карти становить 20 м/піксель (Copernicus: Sentinel-2, 2022). Використовувати дані із супутника Landsat – 8,9 (Landsat NASA, 2024) недоцільно для дослідження у зв'язку з меншою роздільною здатністю (30 м/піксель).

Оброблення контактних і дистанційних даних з подальшим геопросторовим аналізом проводилося у програмному забезпеченні ArcGIS 10.8 (ArcGIS

Desktop 10.8.x system requirements, 2022). Дослідження виконувалися на ліцензійному програмному забезпеченні згідно з Ліцензією № 683187-1 від 08.12.2021 р., виданою Національному аерокосмічному університету ім. М. С. Жуковського “Харківський авіаційний інститут” від дистриб’ютора Esri Inc в Україні – ТОВ “ЕСРАЙ Україна”.

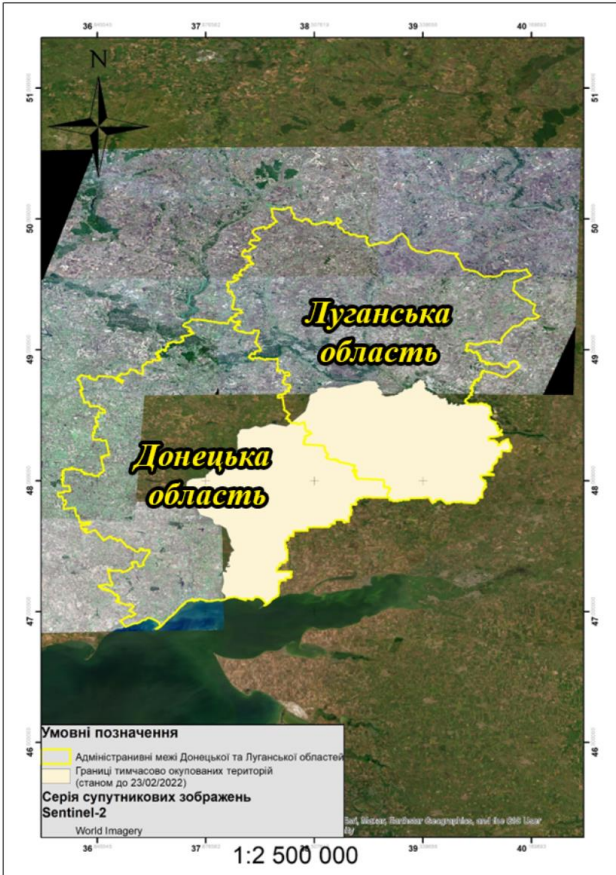


Рис. 1. Ортофотоплан області дослідження з просторовим розрізненням 10 м/піксель

## Методика дослідження

### 1. Виявлення самозаліснених ділянок за даними ДЗЗ

Розроблена методика визначення ділянок самозаліснення за даними ДЗЗ наведена на Рис. 2.



Рис. 2. Структурна схема методики визначення самозаліснених ділянок за даними ДЗЗ

На підготовчому етапі створено проєкт в ArcMap з проєкційною системою координат, куди додані векторні й растрові шари та WMS-сервіси, зазначені в розділі “Матеріали та методи дослідження”.

На першому етапі для визначення лісового покриття на досліджуваній території використана карта індексів NDVI за 29.08.2021 р (Рис. 3). Емпірично, для підконтрольних територій Луганської та Донецької обл. (до 22.02.2022 р.), визначені кількісні значення індексів NDVI для ділянок, вкритих лісом, які становлять – 0,5–0,7. Отже, на цьому етапі за допомогою геоінформаційних технологій отримані вірогідні ділянки з лісовим покритвом.

На наступному етапі, за даними відкритого реєстру лісорубних квитків (Відкритий реєстр лісорубних квитків, 2022), визначалися вже інвентаризовані лісові ділянки (Рис. 4). Векторний шар з межами цих ділянок показаний на Рис. 4. Під час подальшого оброблення ці ділянки не враховувалися.

На третьому етапі за рахунок використання ортофотоплану та базового шару з космічними знімками в ArcGIS високого та надвисокого просторового розрізнення визначалися наявність або відсутність лісового покриття на ділянках, визначених за індексами NDVI. Для встановлення факту самозаліснення земельних ділянок використовувалася Публічна кадастрова карта України (Публічна кадастрова карта України, 2022) у вигляді сервісу WMS (Рис. 5).

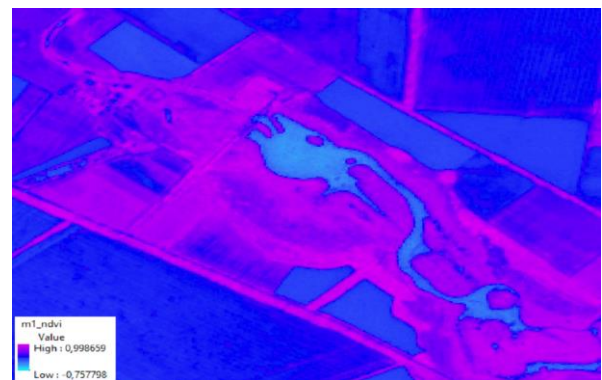


Рис. 3. Фрагмент карти індексів NDVI досліджуваної ділянки

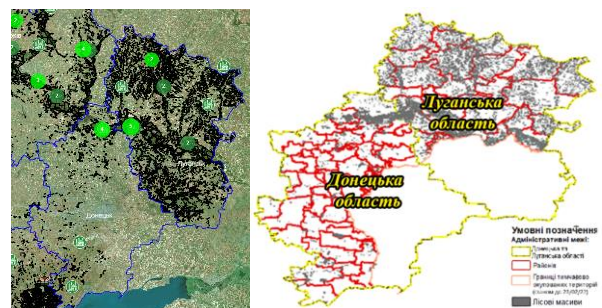


Рис. 4. Відкритий реєстр лісорубних квитків (Відкритий реєстр лісорубних квитків, 2022) (ліворуч). Векторний шар інвентаризованих лісових ділянок у ArcMap (праворуч)



Рис. 5. Приклад використання Публічної кадастрової карти для визначення ділянок самозаліснення (червоні полігони)

Векторизація самозаліснених ділянок відбувалася в ручному режимі в ArcMap для зниження ймовірності помилок (Рис. 6). Загальна трудомісткість робіт з визначення самозаліснених ділянок становила 220 годин.

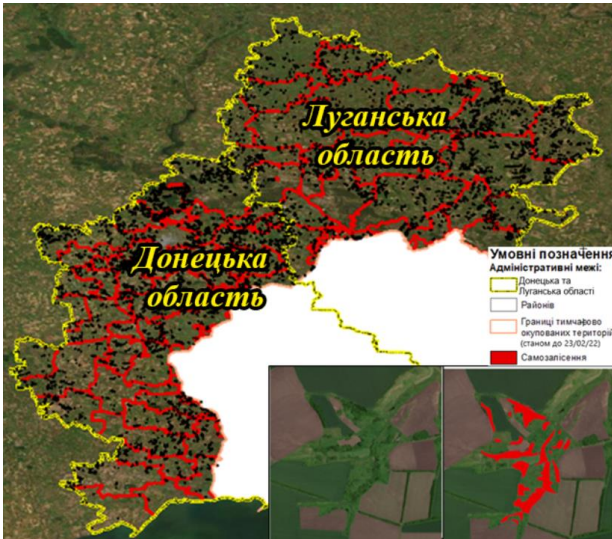


Рис. 6. Самозаліснені ділянки досліджуваної території (справа внизу – ідентифікація самозаліснених ділянок)

## 2. Визначення ймовірної кількості дерев на ділянках самозаліснення

Для виконання поставленого завдання, а саме визначення кількості дерев на самозаліснених ділянках у районі дослідження, було обрано 8 тестових ділянок на космічних знімках з різною щільністю дерев. На рис. 7 червоними кружками позначені ділянки самозаліснення, які відібрані для розрахунків. На кожній ділянці порахована кількість дерев за космічними знімками з надвисоким просторовим розривом та визначена площа. Дані підрахунку занесені в Табл. 1.

Формула розрахунку середньої арифметичної кількості дерев на одиницю площі ( $D$ ) наведена нижче (1):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{S_i}}{i}, \quad (1)$$

де  $n_i$  – кількість дерев в межах ділянки;  $S_i$  – площа ділянки;  $i$  – кількість тестових ділянок.

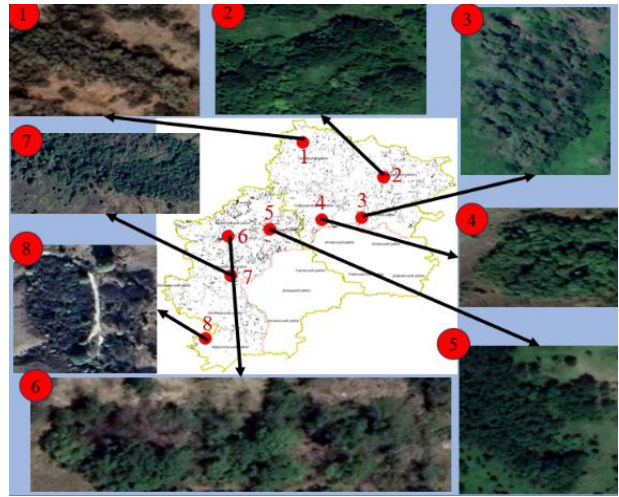


Рис. 7. Тестові ділянки для розрахунку кількості дерев у районі дослідження

Таблиця 1. Емпіричні дані за тестовими ділянками

№ тестової ділянки	1	2	3	4	5	6	7	8
$S_i, \text{m}^2$	2726	2747	3674	3174	3416	2126	3212	4476
$n_i, \text{од.}$	15	11	19	22	35	18	35	5

У результаті розрахунків визначено, що загальна середня арифметична кількість дерев на одиницю площі в межах досліджуваної території становить близько 6,5 тис дерев/км<sup>2</sup>.

Розраховуємо ймовірну кількість дерев ( $Q_i$ ) на самозаліснених ділянках за формулою (2):

$$Q_i = D * S_i, \quad (2)$$

де  $D$  – середня арифметична кількість дерев на одиницю площі;  $S_i$  – площа ділянки;  $i$  – кількість тестових ділянок.

## Результати дослідження

Загальна площа досліджуваної території Донецької та Луганської обл. в межах, підконтрольній Україні, до початку військової агресії РФ становила 39673,94 км<sup>2</sup>. У Табл. 2 наведена інформація, яка отримана під час визначення самозаліснених ділянок за адміністративними районами.

За наведеною методикою визначені 10643 неінвентаризовані лісові ділянки загальною площею 505,73 км<sup>2</sup>. У Луганській області визначено 191,28 км<sup>2</sup> самозаліснених територій, а в Донецькій області – 314,45 км<sup>2</sup>. Середній відсоток самозаліснення становить 1,27%, у Луганській області – 0,96%, у Донецькій області – 1,59%.

За наведеною вище методикою визначена ймовірна кількість дерев на підконтрольній Україні території Донецької та Луганської обл станом на 22.02.2024 р. Розрахована кількість дерев на ділянках самозаліснення становить 3287,2 тис дерев, з яких на Донецьку обл. припадає 2043,9 тис дерев, а на Луганську обл. – 1243,3 тис дерев.

Для візуалізації рівня самозаліснення територій побудовано дві картографічні моделі: за показником площі (Рис. 8) та щільністю ділянок (Рис. 9).

Таблиця 2. Самозаліснення Луганської області по районах

№	Район	Площа району, км <sup>2</sup>	Площа самозаліснення (S <sub>i</sub> ), км <sup>2</sup>	Відсоток площі самозаліснених ділянок, %	Імовірна кількість дерев (Q <sub>i</sub> ), тис. од.
<b>Луганська область</b>					
1	Старобільський район	6938,99	74,48	1,07	484,1
2	Сватівський район	5757,29	52,8	0,92	343,2
3	Щастинський район	3308,29	30,51	0,92	198,3
4	Свердононецький район	3100,11	30,54	0,99	198,5
5	Алчевський район	785,2	2,95	0,38	19,2
Усього		19889,88	191,28	0,96	1243,3
<b>Донецька область</b>					
1	Покровський район	3795,55	66,76	1,76	433,9
2	Краматорський район	5192,59	151,14	2,91	982,4
3	Бахмутський район	1680,83	55,83	3,32	362,9
4	Волноваський район	4454,85	26,26	0,59	170,7
5	Горлівський район	391,18	2,04	0,52	13,3
6	Кальміуський район	903,25	1,06	0,12	6,9
7	Донецький район	732,78	0,31	0,04	2,0
8	Маріупольський район	2633,03	11,05	0,42	71,8
Усього		19784,06	314,45	1,59	2043,9
Усього в межах району дослідження		39673,94	505,73	1,27	3287,2

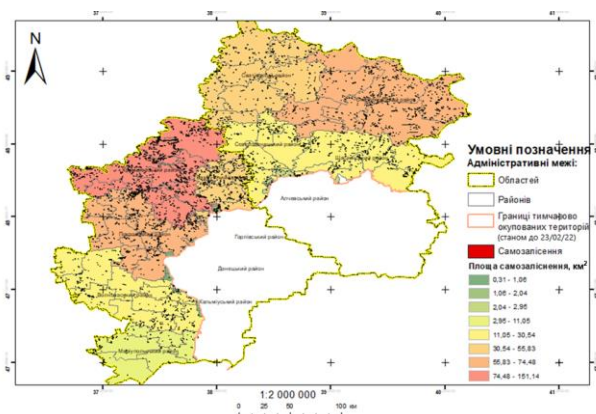


Рис. 8. Картографічна модель площ самозаліснення в адміністративних районах Донецької та Луганської обл.

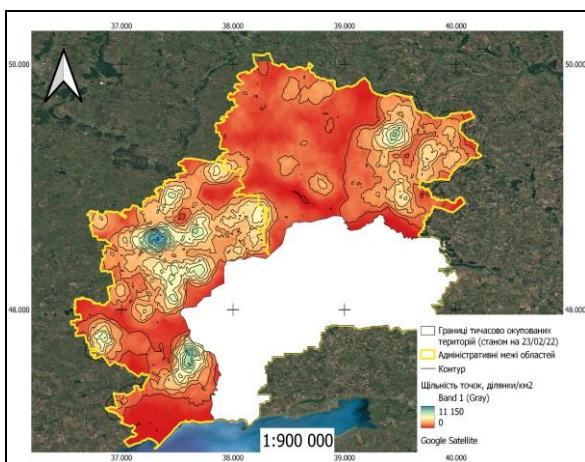


Рис. 9. Картографічна модель щільності ділянок самозаліснення у досліджуваній області

## Висновки

Аналіз доступної інформації виявив, що контактні та дистанційні дані забезпечують ефективно визначення самозаліснених ділянок за допомогою геоінформаційних технологій. Використання ГІС значно підвищило якість просторового аналізу векторних і растрових даних, що сприяє виявленню необлікованих лісових ресурсів. Розроблена методика, і якій використано ГІС і ДЗЗ, дає змогу точно і ефективно визначити самозаліснені ділянки та розрахувати ймовірну кількість дерев на них.

Практична реалізація розробленої методики на підконтрольних Україні територіях Луганської та Донецької областей (до 22.02.2022 р.) дала змогу виявити 10643 необліковані лісові ділянки. Загальна площа самозаліснення становила 505,73 км<sup>2</sup>, тобто, 1,59% від усієї досліджуваної території. Найбільше необлікованих лісових ділянок було визначено в Донецькій області – на площі 314,45 км<sup>2</sup>, тоді як у Луганській області цей показник становив 191,28 км<sup>2</sup>. Загальна трудомісткість робіт з визначення самозаліснених територій, за даними ДЗЗ, оцінюється приблизно в 220 годин.

Визначення ймовірної кількості дерев базувалося на підрахунках, проведених на вибраних тестових ділянках. За отриманими результатами, на 1 км<sup>2</sup> самозаліснених територій припадає приблизно 6,5 тисяч дерев. Загальна кількість неінвентаризованих дерев оцінюється близько 3287,2 тисячі, з яких 2043,9 тисячі – в Донецькій області, а 1243,3 тисячі – в Луганській області. Отримані дані про невраховані лісові ресурси будуть надзвичайно корисними для точнішого обчислення збитків, завданих воєнною агресією, і можуть слугувати основою для майбутніх оцінок та відновлення лісових ресурсів у постраждалих регіонах.

Процес самозаліснення здебільшого відбувається на тих територіях, які не використовувалися в лісовому й сільському господарстві тривалий час. Самозаліснення на цих ділянках відбувалося природним шляхом.

**Author Contributions:** Conceptualization, Stanislav Horelyk and Roman Sych; methodology, Stanislav Horelyk and Roman Sych; formal analysis, Denys Saul-Goze; investigation Stanislav Horelyk, Roman Sych and Denys Saul-Goze; data curation, Roman Sych; writing – original draft preparation, Stanislav Horelyk and Roman Sych; writing – review and editing, Stanislav Horelyk, Roman Sych and Denys Saul-Goze; visualization, Roman Sych. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Acknowledgments:** The authors would like to express their sincere gratitude to the Earth Observing System Data Analytics company (eosda.com) for support. We are also grateful to reviewers and editors for their valuable comments, recommendations, and attention to the work.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Внесок авторів:** Концептуалізація – Станіслав Горелик та Роман Сич; методологія – Станіслав Горелик та Роман Сич; формальний аналіз – Денис Саул-Гозе; дослідження – Станіслав Горелик, Роман Сич та Денис Саул-Гозе; обробка даних – Роман Сич; написання – підготовка оригінального тексту – Станіслав Горелик та Роман Сич; написання – рецензування та редагування – Станіслав Горелик, Роман Сич та Денис Саул-Гозе; візуалізація – Роман Сич. Всі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

**Фінансування:** Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

**Доступність даних:** Не застосовується.

**Подяки:** Автори вдячні рецензентам та редакторам за цінні коментарі, рекомендації та увагу до роботи.

**Конфлікти інтересів:** Автори заявляють, що не мають конфлікту інтересів.

## Література

- Відкритий реєстр лісорубних квитків (2022). Взято з <https://lk.ukrforest.com/map/general>.
- Горелик, С., Саул-Гозе, Д., Сич, Р. (2023). Методика визначення втрат лісу з використанням ГІС-технологій. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 10(2), 19–26. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.2.237>.
- Загальна сума збитків, завдана інфраструктурі України, зросла до майже \$155 млрд – оцінка KSE Institute станом на січень 2024 року. (2024). *Kyiv School of Economics*. Взято з <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-zbitkiv-zavdana-infrastrukturii-ukrayini-zroslo-do-mayzhe-155-mlrd-otsinka-kse-institute-standom-na-sichen-2024-roku/>.
- Марюшко, М. В., Пащенко, Р. Е. (2020). Фрактальний аналіз космічних знімків Sentinel-2 для моніторингу сільськогосподарських культур. *Radioelectronic and computer systems*, 4, 34–47. <https://doi.org/10.32620/reks.2020.4.03>.
- Про внесення змін до деяких законодавчих актів щодо збереження лісів. (2022) : Закон України. Взято з [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/ЛЮ05418А.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ЛЮ05418А.html).
- Публічна кадастрова карта України. (2022). Взято з <https://map.land.gov.ua/>.

- ArcGIS Desktop 10.8.x system requirements – System Requirements Documentation. (2022). Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/system-requirements/latest/arcgis-desktop-system-requirements.htm>.
- Basemap layers. Documentation. ArcGIS Developers. (2022). Retrieved from <https://developers.arcgis.com/documentation/mapping-apis-and-services/maps/basemap-layers/>.
- Copernicus Open Access Hub (2022). Retrieved from <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
- Copernicus: Sentinel-2. (2022). Retrieved from <https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicussentinel-2#copernicus-sentinel-2-the-optical-imagingmission-for-land-services>.
- Francini, S., Cavalli, A., D’Amico, G., McRoberts, R. E., Maesano, M., Munafò, M., Mugnozza, G. S. & Chirici, G. (2023). Reusing Remote Sensing-Based Validation Data: Comparing Direct and Indirect Approaches for Afforestation Monitoring. *MDPI*. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/6/1638>.
- Francini, S., Chirici, G. A. (2022). Sentinel-2 derived dataset of forest disturbances occurred in Italy between 2017 and 2020. *Data Brief*, 42, 108297.
- Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., Shelestov, A. (2017). Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(5), 778–782. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2017.2681128>.
- Landsat-8 U.S. Geological Survey. (2024). Retrieved from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.
- Mani, J. K., Varghese, A. O. (2018). Remote sensing and GIS in agriculture and forest resource monitoring. In Reddy GPO, Singh S. K. (Ed.) *Geospatial technologies in land resources mapping, monitoring and management, geotechnologies and the environment* (p. 377–400). Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018.
- Nabuurs, G.-J., Harris, N., Sheil, D., Palahi, M., Chirici, G., Boissière, M. ... Valbuena, R. (2022) Glasgow forest declaration needs new modes of data ownership. *Nat. Clim. Change*, 12, 415–417.
- Pashchenko, R., Butenko, O., Mariushko, M., Topchiiy, A. (2020). Analysis of the Earth’s surface type in remote sensing using fractal dimension. *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ukrmw49653.2020.9252811>.
- Raza, A., Maqbool, S., Safdar, M., Ali, H., Ullah, I., Akbar, A. ... Malik, A. (2024). Python-Powered Remote Sensing data. In *Advances in geospatial technologies book series* (p. 62–93). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1754-9.ch003>.
- The Humanitarian Data Exchange (2022). Retrieved from <https://data.humdata.org/>.
- Wulder, M. A., Coops, N. C. (2014) Satellites: Make Earth observations open access. *Nature*, 513, 30–31.

## References

- \$155 billion – the total amount of damages caused to Ukraine’s infrastructure due to the war, as of January 2024. Kyiv School of Economics. (2024). Retrieved from <https://kse.ua/about-the-school/news/155-billion-the-total-amount-of-damages-caused-to-ukraine-s-infrastructure-due-to-the-war-as-of-january-2024/>.
- ArcGIS Desktop 10.8.x system requirements. System Requirements Documentation. (2022). Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/system-requirements/latest/arcgis-desktop-system-requirements.htm>.
- Basemap layers. Documentation. ArcGIS Developers. (2022). Retrieved from <https://developers.arcgis.com/documentation/mapping-apis-and-services/maps/basemaplayers/>.

- Copernicus Open Access Hub (2022). Retrieved from <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
- Copernicus: Sentinel-2. (2022). Retrieved from <https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus>.
- Francini, S., Cavalli, A., D'Amico, G., McRoberts, R. E., Maesano, M., Munafo, M., Mugnozza, G. S. & Chirici, G. (2023). Reusing Remote Sensing-Based Validation Data: Comparing Direct and Indirect Approaches for Afforestation Monitoring. *MDPI*. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/6/1638>.
- Francini, S., Chirici, G. A. (2022). Sentinel-2 derived dataset of forest disturbances occurred in Italy between 2017 and 2020. *Data Brief*, 42, 108297.
- Horelyk, S. I., Saul-Hoze, D. K., Sych, R. S. (2023) Methodology for forest loss assessment using gis technologies. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 10(2), 19–26. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.2.237> (in Ukrainian).
- Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., Shelestov, A. (2017). Deep Learning Classification of land cover and crop types using remote sensing data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(5), 778–782. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2017.2681128>.
- Landsat-8 U.S. Geological Survey. (2024). Retrieved from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.
- Mani, J. K., Varghese, A. O. (2018). Remote sensing and GIS in agriculture and forest resource monitoring. In Reddy GPO, Singh S. K. (Ed.) *Geospatial technologies in land resources mapping, monitoring and management, geotechnologies and the environment* (p. 377–400). Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018.
- Mariushko, M., Pashchenko, R. (2020). Fractal analysis of Sentinel-2 satellite imagery for monitoring of agricultural crops. *Radioelectronic and Computer Systems*, 4, 34–47. <https://doi.org/10.32620/reks.2020.4.03> (in Ukrainian).
- Nabuurs, G.-J., Harris, N., Sheil, D., Palahi, M., Chirici, G., Boissière, M. ... Valbuena, R. (2022) Glasgow forest declaration needs new modes of data ownership. *Nat. Clim. Change*, 12, 415–417.
- On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Forest Conservation*. (2022). The official web portal of the Parliament of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2321-20#Text>.
- Open register of logging tickets (2022). Retrieved from <https://lk.ukrforest.com/map/general>.
- Pashchenko, R., Butenko, O., Mariushko, M., Topchiiy, A. (2020). Analysis of the Earth's surface type in remote sensing using fractal dimension. *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ukrmw49653.2020.9252811>.
- Public Cadastral Map of Ukraine. (2022). Retrieved from <https://map.land.gov.ua/>.
- Raza, A., Maqbool, S., Safdar, M., Ali, H., Ullah, I., Akbar, A. ... Malik, A. (2024). Python-Powered Remote Sensing data. In *Advances in geospatial technologies book series* (p. 62–93). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1754-9.ch003>.
- The Humanitarian Data Exchange (2022). Retrieved from: <https://data.humdata.org/>.
- Wulder, M. A., Coops, N. C. (2014). Satellites: Make Earth observations open access. *Nature*, 513, 30–31.

#### DETERMINATION OF SELF-Foresting AREAS BY REMOTE SENSING DATA

S. I. Horelyk, R. S. Sych, D. K. Saul-Hoze

*National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine*

The military aggression of the Russian Federation causes enormous damage to the ecosystems of Ukraine, destroying natural resources and biodiversity. In particular, as of January 2024, the loss of the forest fund is estimated at \$4.5 billion. During the hostilities, not only inventoried forest areas are destroyed, but also self-forested areas that are not taken into account in the damage assessment. Thus, an urgent task is to identify self-forested areas with the definition of their geometric characteristics and calculation of the probable number of trees. The study area was selected as the Donetsk and Luhansk regions controlled by Ukraine as of 22.02.2024. The task was realized through the use of contact and remote methods. The study used the following data obtained by contact methods: a vector layer of forest plots registered with the State Agency of Forest Resources, the Public Cadastral Map of Ukraine, and the open register of logging tickets. This data allows us to immediately identify inventoried forest resources. Remote sensing data, namely multi-temporal satellite images in the visible range of high and ultra-high spatial resolution, and a synthesized map of NDVI indices, allow us to quickly identify areas of forest cover. The integrated use of contact and remote data makes it possible to identify areas of self-forested with minimal time and material costs. The boundaries of these areas with the calculation of their area and number of trees were determined using licensed geographic information system (GIS) software ArcGIS. The use of GIS technologies made it possible to simultaneously process geodata obtained by contact and remote survey methods and to analyze forest plots to identify unaccounted for resources. Thanks to the developed methodology for determining self-forested areas using remote sensing data, more than 10 thousand plots with a total area of 505.37 km<sup>2</sup> were identified. The estimated number of trees in these areas is 3287.2 thousand. The data obtained can be used in the future to more accurately calculate the damage from military aggression.

**Keywords:** remote sensing, GIS, self-forested, NDVI, ArcGIS, mapping model.

*Рукопис статті отримано 05.12.2024  
Надходження остаточної версії: 17.12.2024  
Публікація статті: 30.12.2024*