

Методика та практична імплементація дослідження зміни лісистості Волинської області із використанням методів ДЗЗ

Василь Фесюк¹

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри фізичної географії
¹ Волинського національного університету ім. Лесі Українки,
пр. Волі, 13, Луцьк, 43025, Україна,

e-mail: fesyuk@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>;

Ірина Мороз²

к. хім. н., доцент, кафедра матеріалознавства

² Луцького національного технічного університету,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43000, Україна,

e-mail: moroz.irynd@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-9167-4876>;

Микола Федонюк²

к. геогр. н., доцент, кафедра екології,

e-mail: m.fedoniuk@lntu.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0002-4034-3695>;

Олександр Мельник¹

к. техн. н., доцент, доцент кафедри геодезії, землевпорядкування і кадастру,

e-mail: hockins@vnu.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>;

Сергій Полянський¹

к. геогр. н., доцент, доцент кафедри фізичної географії,

e-mail: polianskyi@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0002-8666-7695>

Ліси є невід'ємним компонентом навколишнього середовища, які виконують цілий ряд важливих екосистемних послуг. Серед них найголовнішими є підтримання рівня природності, екостабілізація, поглинання парникових газів. Проте в останні роки у Волинській області спостерігається тенденція до знеліснення. Основними причинами втрат були вирубка і знищення лісів шкідниками, хворобами і пожежами. В області відбуваються заходи лісовідновлення. Проте їх ефективність недостатня для запобігання знеліснення. За даним датасету Global Forest Watch відношення площ відновлених лісів до втрачених найменше у Маневиському (14,7%), а найвище у Луцькому (73,3%) районах. В статті виконана спроба інтеграції даних з різних відкритих джерел (державної статистичної звітності, онлайн-платформ та веб-сервісів по моніторингу лісів, супутникових знімків) з метою оцінки сучасного стану лісів, динаміки їх площ, втрат лісів та лісовідновлення. Дані про площі лісів та знеліснення у Волинській, отримані з різних джерел, порівнювані між собою. Наприклад, за даними EOS Forest Monitoring площа лісів Волинської області у 2020 р. становила 1108,3 тис.га, за даними Global Forest Watch – 733 тис. га, за результатами визначення площі лісів в Google Earth Engine – 853 тис. га. Лісистість відповідно становила 55,02%, 36,38% і 42,35%. За офіційною інформацією з Екологічного паспорту області – 34%. Такі відмінності зрозумілі і пояснюються відмінністю в методиці визначення. Зростає площа нелісових земель лісогосподарського призначення. В 2017 р. їх площа становила 1692,3 га, в 2018 р. – 32459,3 га, в 2019 р. – 34136,86 га, в 2020 р. – 42436,33 га. Очевидно, що в 2018 р. відбулись зміни в підході до визначення цих земель. Зменшується площа загиблих лісових насаджень. Якщо в 2017 р. вона становила 2915 га, то в 2018 р. зменшилась на 43,01%, в 2019 р. – ще на 22,36%, в 2020 р. – ще на 33,22%. Найбільше гинули лісові насадження від шкідників і хвороб. Згадане вище зменшення площ пояснюється ефективними і значними за площами санітарними рубками в попередні роки. Площі лісів, що знищених пожежами, незначні. Втрати лісів відбувались внаслідок екстремальних погодних умов в окремі роки (2017 р, 2019 р.). Запропоновано комплекс заходів раціонального використання і охорони лісів у Волинській області.

Ключові слова: ліси, площа лісів, втрати лісів, лісовідновлення, знеліснення, моніторинг лісів, динаміка площа лісів, просторовий аналіз знеліснення, застосування методів дистанційного зондування Землі для моніторингу лісів, онлайн-платформи та веб-сервіси для моніторингу лісів.

Як цитувати: Фесюк Василь. Методика та практична імплементація дослідження зміни лісистості Волинської області із використанням методів ДЗЗ / Василь Фесюк, Ірина Мороз, Микола Федонюк, Олександр Мельник, Сергій Полянський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 274-289. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-21>

In cites: Fesyuk Vasyly, Moroz Iryna, Fedonyuk Mykola, Melnyk Oleksandr, Polyanskyi Serhii (2023). Methodology and practical implementation of research of changes in forest coverage of Volyn region using remote sensing. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 274-289. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-21> [in Ukrainian]

Вступ. Останнім часом міжнародні наукові, природоохоронні та політичні спільноти дуже багато уваги приділяють питанням стійкого екологічно безпечного розвитку, екологічної безпеки території, протидії глобальним змінам клімату. В

цьому контексті для розвитку Волинської області надзвичайної важливості набувають питання стану лісових ресурсів, площі лісів та її динаміки, заходів охорони та раціонального використання лісів. Адже ліс зменшує забруднення довкілля,

© Фесюк Василь, Мороз Ірина, Федонюк Микола, Мельник Олександр, Полянський Сергій, 2023

затримує вологу на полях, поліпшує гідрологічний режим території, сприяючи переведенню поверхневого стоку в підземний. Окрім того, лісові ландшафти – чи не найбажаніші для створення нових та розширення мережі існуючих об'єктів і території природно-заповідного фонду, розвитку екологічної мережі. Коефіцієнт заповідності України – 6,77% (Волинської області – 10,96%). Україна прагне стати повноцінним членом ЄС, хоча ще дуже далека за цим показником від європейських вимог. Аналогічна ситуація і у Волинській області.

Зміни лісистості тієї чи іншої території можливо ідентифікувати з використанням багатьох джерел інформації, в т.ч. статистичних матеріалів, багатоспектральних супутникових знімків, інтернет-сервісів, які дають змогу відслідкувати стан лісів території в режимі реального часу, а також проаналізувати інформацію про зміни за попередні періоди.

Тому проблема знеліснення території є дуже важливою і вимагає ґрунтовних наукових досліджень, які могли б лягти в основу розробки ефективних загальнонаціональних та регіональних програм розвитку лісового господарства, охорони і раціонального використання лісових ресурсів.

Актуальність дослідження знеліснення території підвищується у зв'язку із урбанізацією, трансформацією довкілля внаслідок розвитку промисловості, сільського господарства, транспорту та інфраструктури, а також глобальних змін клімату й підвищення інтересу громадян до якості середовища їх життя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема знеліснення (deforestation) турбує закордонних і вітчизняних вчених давно. У зв'язку із цим розвиваються методичні і прикладні засади оцінки втрати лісів, лісовідновлення, екосистемних послуг лісів тощо. Серед західних робіт в цьому напрямку варто відмітити праці Hansen M. et al. 2013 [15, 21], Olofsson P. et al. 2014 [22], Weisse M. & Goldman L. 2021 [23]. Серед українських робіт слід згадати, напевно, найфундаментальнішу працю, присвячену лісам України, авторства Генсірука С.А. [3], статтю Геника Я.В. про причини та наслідки знеліснення і деградації лісових екосистем в Україні [2]. Для умов Волинської області ці питання розглянуті в монографіях [4, 5, 13]. Методика застосування ДЗЗ для вирішення задач лісового моніторингу, зокрема, для оцінки площі лісів та знеліснення розглядається в роботах [1, 9]. Найбільш детально в Україні розроблені регіональні оцінки для Українських Карпат в роботах Часковського О.Г. із співавторами, зокрема, в статті [14]. По Волинській області такі дослідження теж розпочаті в статтях [6, 7, 18], в яких розглядаються результати проведених кла-

сифікацій лісових масивів Волині за даними багатоспектральних супутникових знімків.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Стаття присвячена оцінці зміни лісистості Волинської області. Існує багато способів такої оцінки: за статистичними матеріалами (Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища, Екологічний паспорт області), за фондовими матеріалами лісокористувачів, за матеріалами інтернет-сервісів, які дають змогу відслідкувати стан заліснення території в режимі реального часу, а також проаналізувати інформацію про зміни за попередні періоди (EOS Forest Monitoring, GlobalForestWatch), за супутниковими знімками тощо. Проте кожна із таких оцінок не буде абсолютно об'єктивною. Наприклад, за інформацією лісокористувачів площі лісовідновлення завжди більші, ніж площі вирубок. Використання різних інтернет-сервісів дає різні результати оцінок, що буде показано нижче. Окремі інтернет-сервіси на сьогодні не доступні у зв'язку із військовим станом. Global Forest Watch, наприклад, враховує під час оцінки лісовкриті площі із висотою дерев більше 5 м. Оцінка за супутниковими знімками накладає свої обмеження. Наприклад, до лісів відносяться не лише лісові масиви, але й інші лісовкриті площі, які, за цільовим призначенням, не є землями лісового фонду. В нашій роботі виконана спроба «звести» до єдиного знаменника різні за способами оцінки для чіткого визначення сучасного стану лісистості Волинської області та тенденції її зміни.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є напрацювання методики оцінки лісистості Волинської області, її верифікація, оцінка сучасного стану лісистості Волинської області, визначення тенденції її зміни та окреслення основних заходів для поліпшення охорони і раціонального використання лісових ресурсів.

Матеріали та методи. Під час підготовки статті використані матеріали Управління екології і природних ресурсів Волинської ОДА (Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища, Екологічні паспорти області), власних досліджень, інтернет-сервісів, які дають змогу відслідкувати стан заліснення території в режимі реального часу, а також проаналізувати інформацію про зміни за попередні періоди (EOS Forest Monitoring, Global Forest Watch) і супутникові знімки місії Sentinel-2, проаналізовані в GoogleEarthEngine.

Методи дослідження – експедиційний (для дослідження стану лісистості конкретної території інтересу), математичної статистики (для статистичної обробки результатів моніторингу), експертної оцінки (для встановлення причин зміни лісистості), дистанційного зондування Землі (для

оцінки масштабів зміни лісистості).

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для проведення дослідження знеліснення Волинської області запропоновано авторську методику, суть якої полягає у наступному: для початку ситуація із зміною лісистості була оцінена за матеріалами Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2017-2020 р.р., Екологічних паспортів Волинської області за ті ж роки (рис. 1). Після цього для оцінки масштабів знеліснення використані матеріали аналітичної обробки супутникових знімків веб-сервісами EOS Forest Monitoring, GlobalForestChange, GlobalForestWatch. Зокрема, за до-

помогою цих сервісів проаналізована динаміка зміни лісистості території області, просторовий розподіл лісистості, зменшення площі лісів та відтворення лісів по районах області. Результати співставлялись із матеріалами державної статичної звітності. Ми зіткнулись з ситуацією, коли окремі сервіси у період військового стану надають функціонал частково обмежений з міркувань конфіденційності, або повністю недоступні (Deep Green Ukraine, Український державний портал дистанційного зондування). У зв'язку із цим, а також для уточнення й верифікації оцінок, проведено підрахунок площі лісів в Google Earth Engine з використанням знімків місії Sentinel-2.

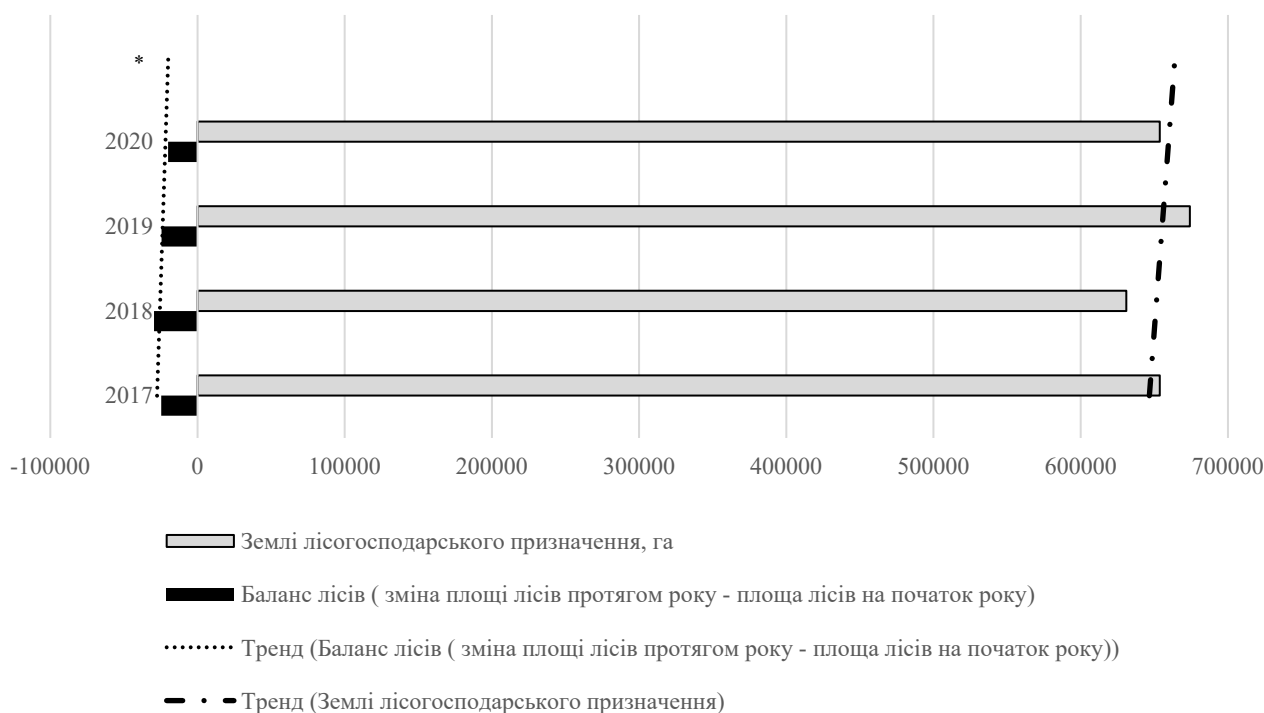


Рис. 1. Зміна лісистості Волинської області за матеріалами Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища у Волинській області, Екологічних паспортів Волинської області за 2017-20 р.р. (* – у зв'язку із введенням військового стану Екологічний паспорт за 2021 р. не оприлюднюється) /

Fig. 1 Changes in the forest cover of Volyn Oblast based on the materials of the Regional Reports on the State of the Environment in Volyn Oblast, Environmental Passports of Volyn Oblast for 2017-20

Як видно з рис. 1 чітка тенденція відсутня. Площі лісів змінювались з року в рік в інтервалі від 630952,3 га до 674202,5 га. Найбільша зміна зафіксована в 2019 р. у порівнянні із 2018 р. – на 6,85%, найменша – у 2018 р. порівняно із 2017 р. – 3,6%. Найважливішим чинником зміни площі лісів були рубки. Площа їх змінювалась з 2017 р. по 2020 р. в інтервалі 24732,52-30339,3 га, досягши максимальних значень у 2019 р., а мінімальних – у 2020 р. (табл. 1).

Аналізуючи структуру рубок за 2017-20 р.р. (рис. 2), слід відмітити, що найбільша частка припадала на санітарні рубки: 70% у 2017 р., 71% у

2019 р., 73% у 2018-19 р.р. На рубки догляду припадало від 18% (2018-19 р.р.) до 20% (2020 р.). Найменша частка рубок головного користування: 9% (11 % у 2017 р.).

Стійкою тенденцією є зростання площі нелісових земель лісогосподарського призначення. Так в 2017 р. їх площа становила 1692,3 га, в 2018 р. – вже 32459,3 га, в 2019 р. – 34136,86 га, в 2020 р. – 42436,33 га. Очевидно, що в 2018 р. відбулись зміни в підході до визначення цих земель, а з 2018 р. площа їх зростає від 5,16% у 2019 р. до 24,31% у 2020 р. Навпаки, з року в рік зменшується площа загиблих лісових насаджень. Якщо в 2017 р. вона

Основні показники лісокористування по Волинській області [8] /
Main indicators of forest use in the Volyn region [8]

Показник	Роки*			
	2017	2018	2019	2020
Землі лісогосподарського призначення, га	653688	630952,3	674202,5	653688
Землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення, га	99618	35866,4	29357,2	99618
Нелісові землі, землі лісогосподарського призначення, га	1692,3	32459,3	34136,86	42436,3
Усього рубок, га	27835	28252,98	30339,3	24732,52
в т.ч. рубки головного користування	3145,90	2681,18	2669,5	2270
рубки догляду	5715	5479	5428,1	5355,82
санітарні рубки	20728	22767,2	25037	18474,6
Усього загиблих лісових насаджень, га	2981	1661	1463,6	867,8
в т.ч. від пожеж, га	0	0	0	4
несприятливих погодних умов, га	66	0	174	2,6
хвороб та шкідників лісу, га	2915	1661	1289,6	861,2
Лісовідновлення, га	6212,9	365,5	7348,4	5634,1
в т.ч. посадка лісу, га	2674,2	173,7	2873,9	3139,2
природне відновлення лісу, га	3535,7	191,8	4474	3133,1
Зміна площі лісів протягом року (площа лісів - усього рубок - усього загиблих лісових насаджень + лісовідновлення), га	629085	601403,8	649748	633721,8
Баланс лісів (зміна площі лісів протягом року - площа лісів на початок року)	-24603	-29548,5	-24454,5	-19966,2

* – у зв'язку із введенням військового стану Екологічний паспорт за 2021 р. не оприлюднюється

становила 2915 га, то вже в 2018 р. зменшилась на 43,01%, в 2019 р. – ще на 22,36%, в 2020 р. – ще на 33,22%. Найбільше гинули лісові насадження від шкідників і хвороб, а згадане вище зменшення площі пояснюється ефективними і значними за площами санітарними рубками в попередні роки. Площі лісів, загиблих від пожеж незначні. Проте також втрати лісів зумовлювались екстремальними погодними умовами в окремі роки (2017 р, 2019 р.).

Аналізуючи заходи лісовідновлення, слід відмітити, що їх масштаби, а також співвідношення між посадкою та природним відновленням лісу в різні роки були різними (табл. 1). Так в 2017 р. 43,04% припадало на посадку лісу, а 56,96% – на природне відновлення. В 2018 р. співвідношення приблизно таке ж, (47,53% і 52,47% відповідно), проте масштаби лісовідновлення менші в 17 разів. В 2019 р. на посадку лісу припадало 39,11%, а на природне відновлення – 60,89%, масштаби лісовідновлення зросли на 18,27% порівняно із 2017 р. В 2020 р. відповідно 55,18% і 44,82% відповідно, масштаби лісовідновлення зменшились на 10% порівняно із 2017 р.

Насамкінець найцікавіше: згідно державної статистичної звітності протягом 2017-21 р.р. зміна площі лісів, розрахована за методикою: площа лісів на початок року – усього рубок – усього загиблих лісових насаджень + лісовідновлення, мала

негативну динаміку. Зменшення площі лісів становило в 2017 р. – 24603,1 га, в 2018 р. – 29548,5 га, в 2019 р. – 24454,5 га, в 2020 р. – 19966,2 га. Звісно ж така ситуація пояснюється багатьма причинами – змінами в призначенні тих чи інших ділянок, змінами в статистичній звітності тощо. Проте чітко можна говорити, що в усі роки площі рубок лісу переважали над лісовідновленням.

Спробуємо перевірити висловлену вище гіпотезу, використавши інші відкриті дані, зокрема, матеріали аналітичної обробки супутникових знімків веб-сервісом EOS Forest Monitoring. Це програмне забезпечення для управління лісовим господарством на основі супутникових даних розроблене компанією EOS Data Analytics із застосуванням штучного інтелекту. За допомогою супутникових зображень ПЗ дозволяє віддалено контролювати стан лісу, мати доступ до найактуальніших даних по лісових активах онлайн з метою зручного та сталого управління лісом [10].

EOS Forest Monitoring оцінює загальну площу лісового покриву Волинської області станом на 2020 р. – 1,1 млн.га, а втрати лісового покриву в 2020 р. у порівнянні із 2019 р. – 2,7 тис. га або 0,25% всіх лісів (рис. 4). Для порівняння – за матеріалами Екологічного паспорта Волинської області площа лісів у 2020 р. становить 653,688 тис.га, а втрати лісового покриву – 19,966 тис. га. Причина такої розбіжності полягає, на нашу думку,

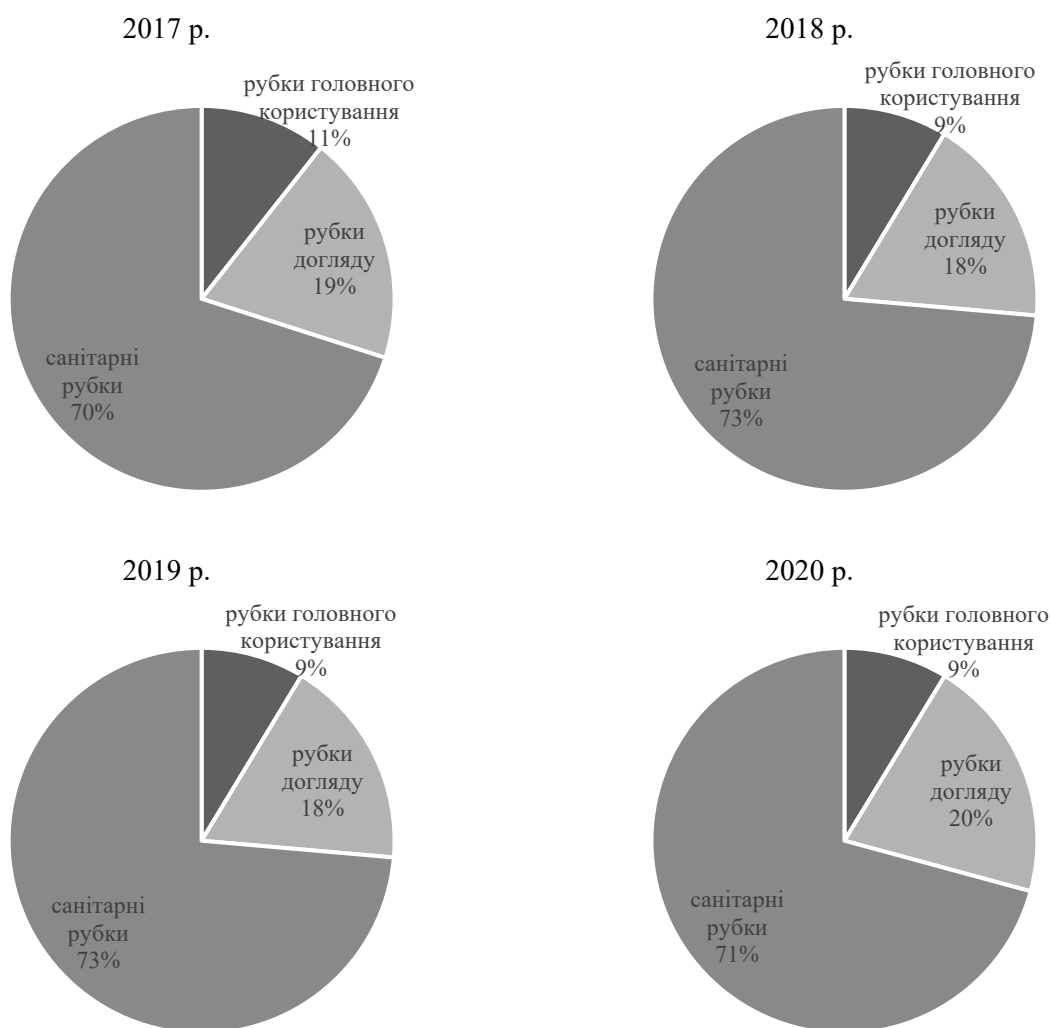


Рис. 2. Структура рубок в лісах Волинської області за 2017-20 р.р. [8] /
 Fig. 2. The structure of logging in the forests of Volyn region in 2017-20 [8]

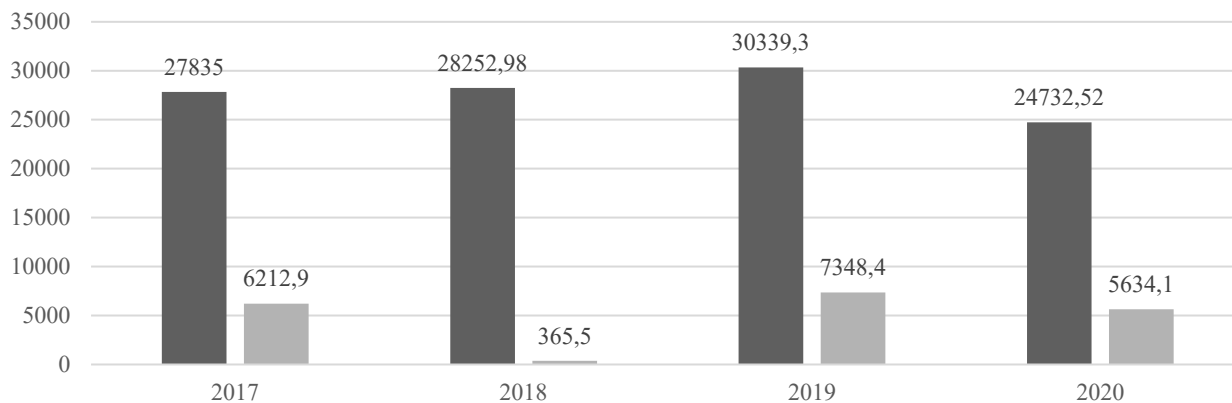


Рис. 3. Співвідношення між площами рубок лісу (га) та лісовідновленням (га) у Волинській області за 2017-20 р.р. [8] /
 Fig. 3. Correlation between the area of deforestation (ha) and reforestation (ha) in Volyn region in 2017-20 [8]

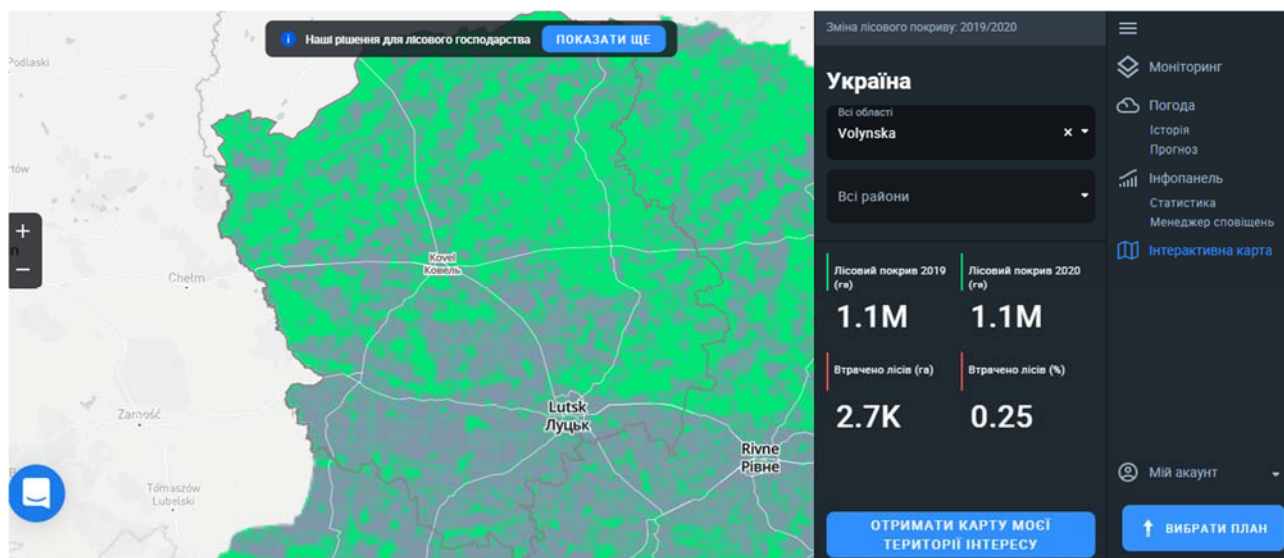


Рис. 4. Зміна лісового покриття території Волинської області за даними EOS Forest Monitoring /
Fig. 4. Change in forest cover in Volyn region according to EOS Forest Monitoring

в тому, що в Екологічному паспорті звітність подається для земель лісгосподарського призначення, а веб-сервіс оцінює за результатами обробки супутникових знімків зміну всіх площ із деревним покривом.

При аналізі просторового розподілу стану лісів, їх втрат та лісовідновлення по адміністративних районах будемо використовувати старий адміністративний устрій. Згідно нього у Волинській області виділялось 16 адміністративних районів (нині 4). По-перше, старий устрій з більшою кількістю районів дозволяє детальніше оцінити особливості просторового розподілу втрат лісів, а по-друге, він був актуальним упродовж періоду, що аналізується (2017-20 р.р.).

Прогнозовано виглядає просторовий розподіл лісистої та втрат лісів за даними EOS Forest Monitoring (рис. 5). Найбільші площі лісів станом на 2020 р. у Маневицькому (166,4 тис.га), Камінь-Каширському (122,1 тис.га), Шацькому (96,3 тис.га), Любомльському (96,3 тис. га), Любешівському (95,9 тис.га), Ковельському (96,2 тис.га). Отже, найбільші площі лісів у Волинській області у північно-поліських районах, які характеризуються порівняно нижчою господарською освоєністю, заболоченістю, залісненістю, кращою збереженістю природного середовища, більшою часткою об'єктів і територій природно-заповідного фонду і екологічної мережі.

Втрати лісів в абсолютних показниках найвищі в тих же ж районах: Маневицькому (640,12 га), Камінь-Каширському (256,78 га), Любешівському (204,26 га), Ковельському (176,58 га). Шацький район випав з цього переліку тому, що більшу його частину займає Шацький національний природний парк, де рубки або заборонені або дуже обмежені у зв'язку із природоохоронним

статусом.

А от втрати лісів у відносних показниках (по відношенню до площі лісів станом на 2020 р.) вже мають зовсім інший просторовий розподіл. Зокрема, найвищі втрати лісів в Луцькому (0,61%), Володимир-Волинському (0,38%), Маневицькому (0,38%), Рожищенському (0,37%), Локачинському (0,34%), Іваничівському (0,26%), Турійському (0,25%) районах. Тобто в південних районах області, в т.ч. і лісостепових, які характерні високим ступенем господарської освоєності, значною часткою сільськогосподарських земель, надмірною розораністю та вищим розвитком селитебної мережі, в той же ж час відносно низькою лісистою та часткою об'єктів і територій природно-заповідного фонду і екологічної мережі. Тому знеліснення таких районів має дуже негативні наслідки і загострює й так напружену тут екологічну ситуацію.

Окрім природоохоронної і екостабілізуючої функції, ліси мають також значне господарське значення, особливо у північних районах області. І це стосується не тільки лісозаготівлі, але й використання недревних ресурсів лісу (ягід, грибів), які є джерелом доходів місцевого населення.

Датасет Global Forest Change розроблений лабораторією Global Land Analysis & Discovery кафедри географічних наук Університету Меріленду (США). В основі його лежать результати аналізу часових рядів супутникових знімків Landsat, що характеризують площу та зміни лісу. Деревна висота визначається як рослинність висотою > 5 м і виражаються у % на клітинку вихідної сітки. Втрата лісового покриття визначається як порушення заміщення деревостану або зміна лісу до нелісового стану протягом 2000-21 р.р.

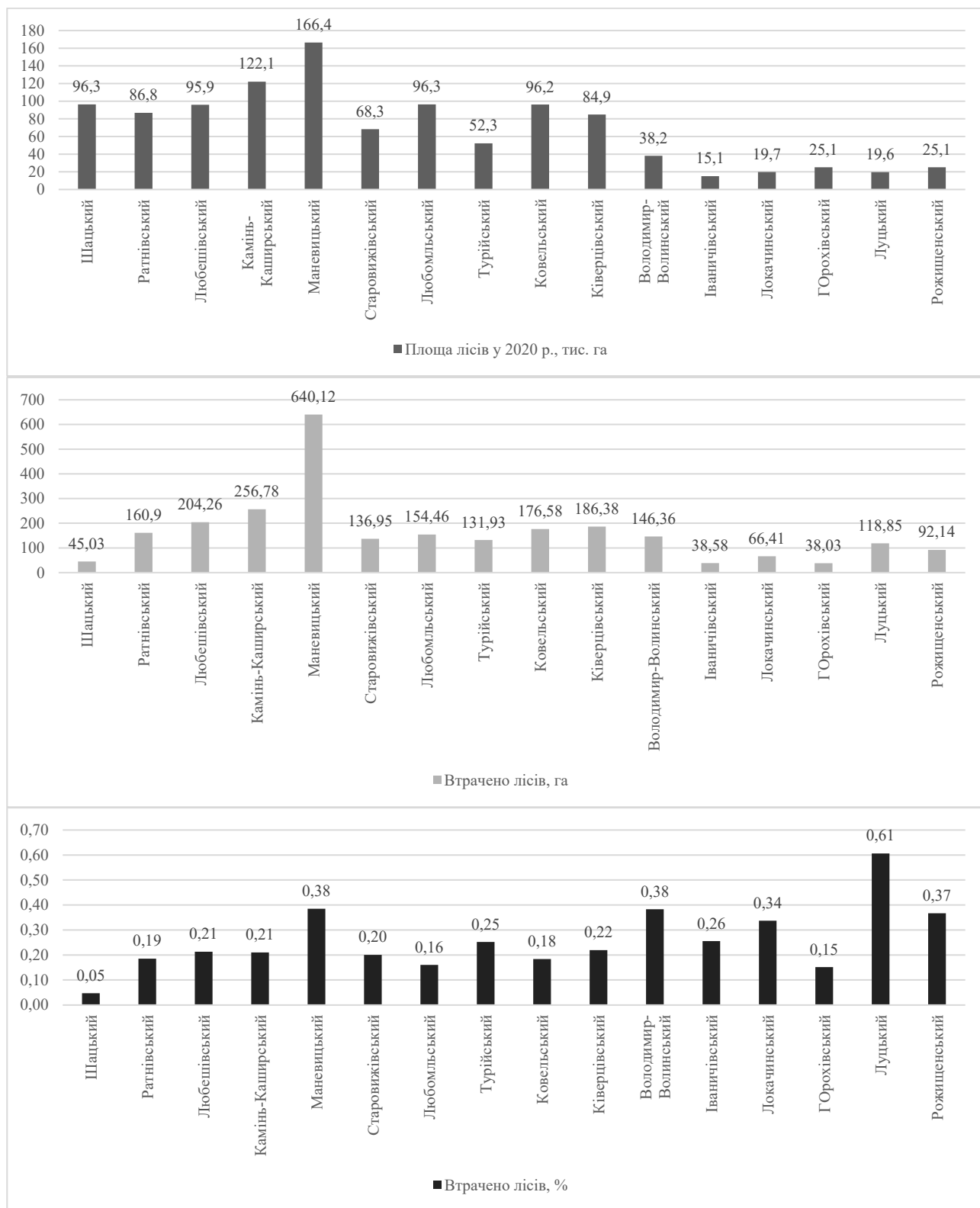


Рис. 5. Оцінка площі лісів станом на 2020 р. та втрати лісів в 2020 р. у порівнянні із 2019 р. в розрізі адміністративних районів Волинської області за даними EOS Forest Monitoring / Fig. 5. Estimation of forest area as of 2020 and forest loss in 2020 compared to 2019 by administrative districts of Volyn region according to EOS Forest Monitoring

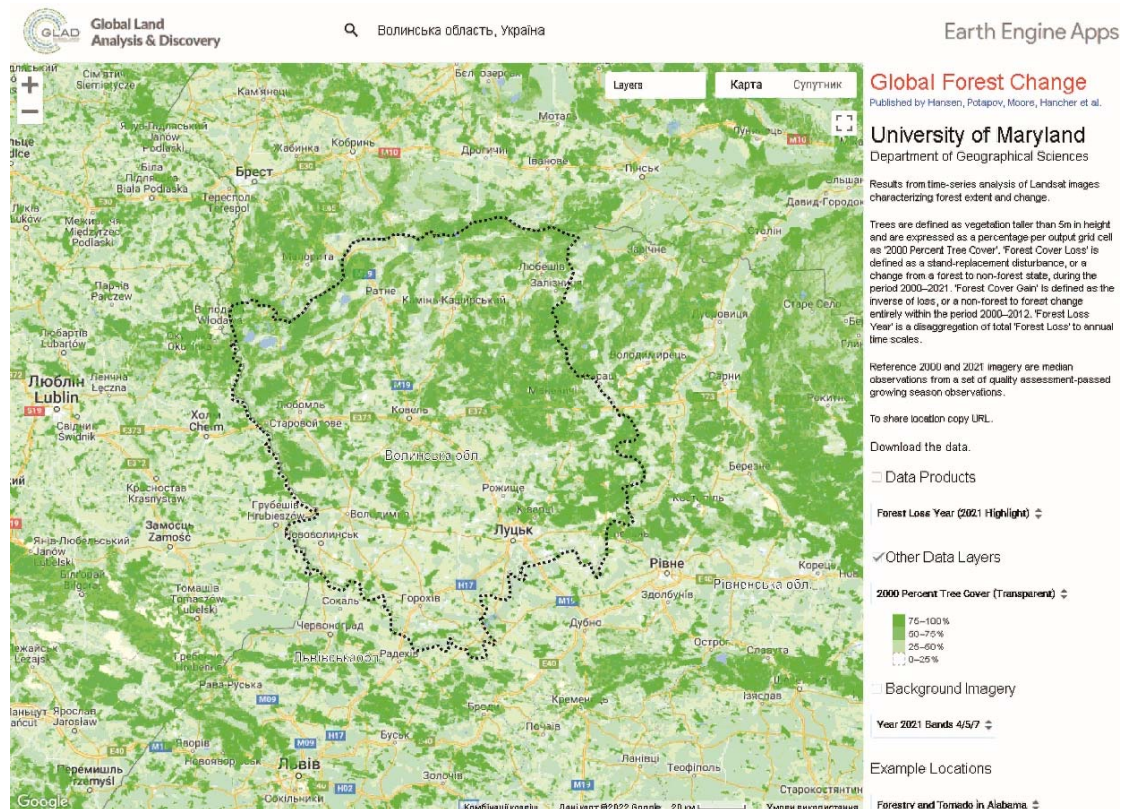


Рис. 6. Лісистість Волинської області станом на 2000 р. за матеріалами датасету Global Forest Change лабораторії Global Land Analysis & Discovery [11] / Fig. 6. Forest cover of Volyn region as of 2000 according to the dataset Global Forest Change laboratory of Global Land Analysis & Discovery

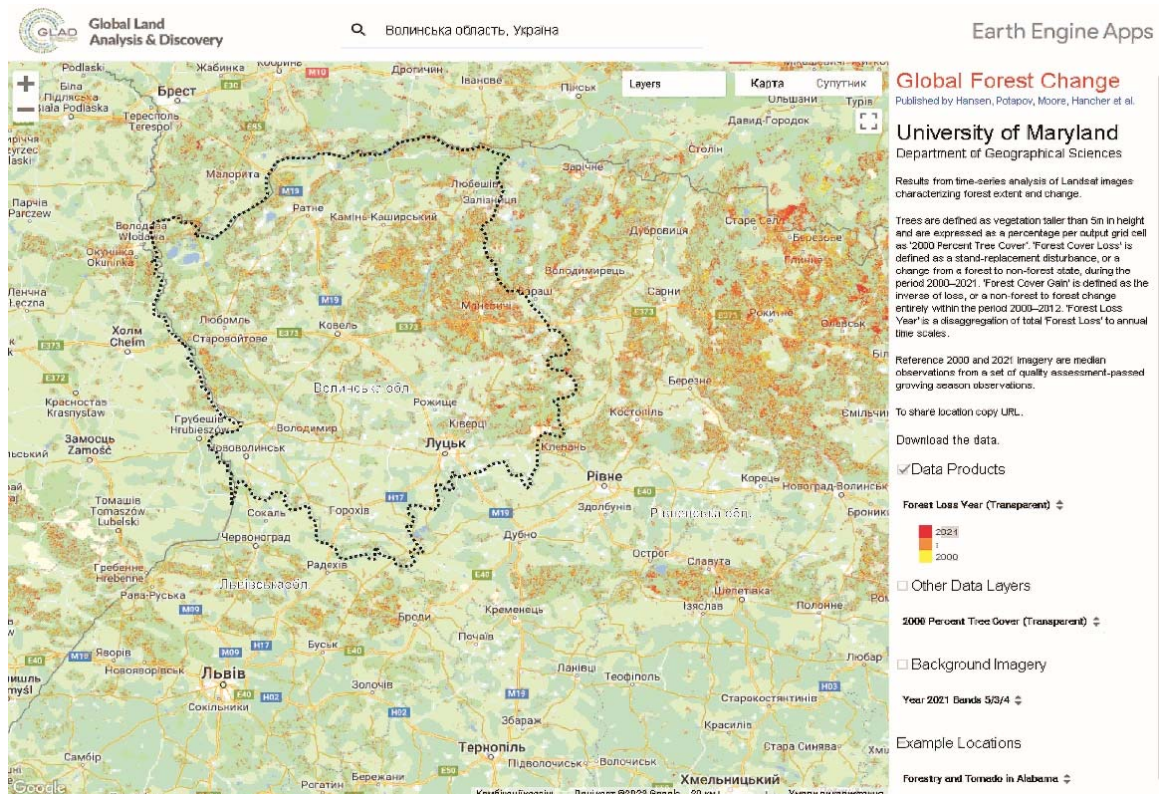


Рис. 7. Втрати лісів за 2000-21 р.р. за матеріалами датасету Global Forest Change лабораторії Global Land Analysis & Discovery [11] / Fig. 7. Forest loss in 2000-21 according to the dataset Global Forest Change laboratory of Global Land Analysis & Discovery [11]

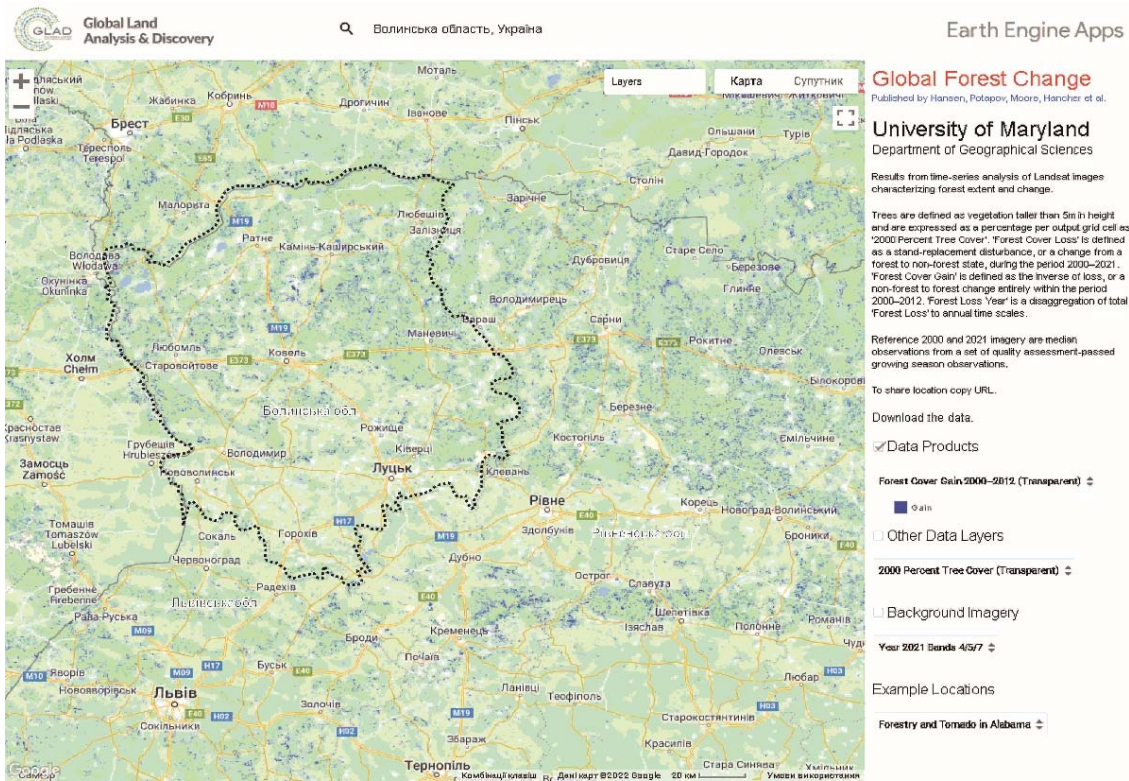


Рис. 8. Відновлення лісів в межах Волинської області за матеріалами датасету Global Forest Change лабораторії Global Land Analysis & Discovery [11] / Fig. 8. Restoration of forests within Volyn region based on dataset materials Global Forest Change laboratory of Global Land Analysis & Discovery

Відновлення лісового покриву – величина, обернена втраті, або повна зміна нелісового покриву протягом 2000-12 р.р. Рік втрати лісу – це розбивка загальних втрат лісу на річні часові проміжки. Еталонні зображення 2000 р. і 2021 р. – це медіанні значення з набору спостережень за вегетаційний період. На жаль, ресурс Global Forest Change не передбачає отримання статистичних

характеристик змін площі лісів, а лише дозволяє проаналізувати ці зміни за результатами візуалізації аналізу часових рядів супутникових знімків Landsat (рис. 6-8) [20].

Натомість проаналізувати такі зміни дає можливість онлайн-платформа даних та інструментів для моніторингу лісів Global Forest Watch (GFW).

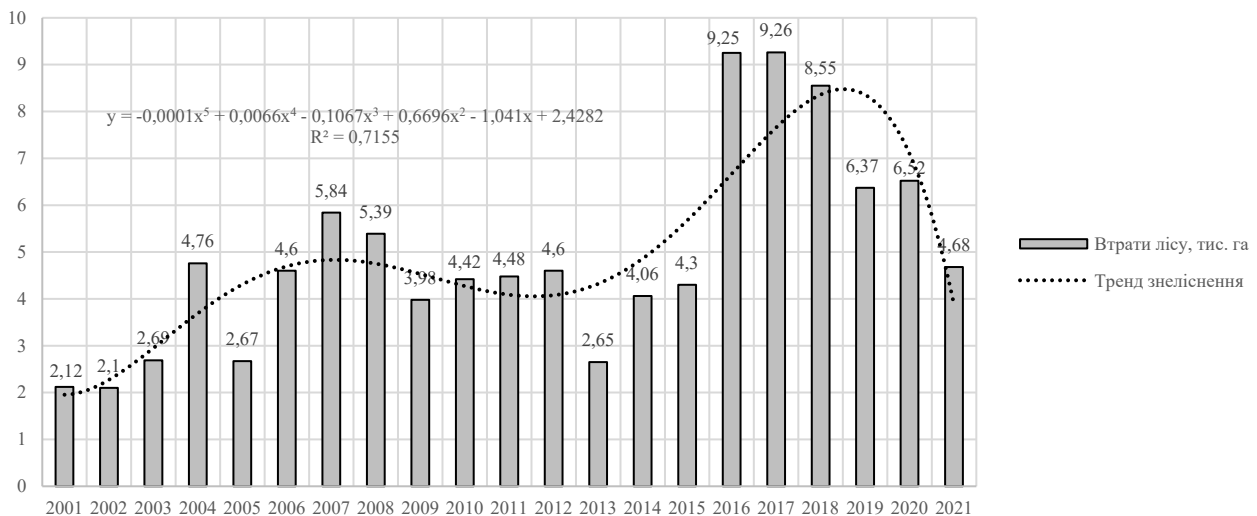


Рис. 9. Втрати лісів Волинської області протягом 2001-21 р.р. за даними датасету Global Forest Watch [12] / Fig. 9. Forest loss in Volyn region during 2001-21 according to the Global Forest Watch dataset [12]

Global Forest Watch (GFW) – онлайн-платформа із доступними для аналізу просторовими даними про зміну лісів в усьому світі на основі роботи Hansen et al. 2013 [21]. Цей ресурс є найпотужнішим із відкритих джерел за глобальним покриттям, проміжком часу моніторингу, щорічною частотою оновлення та 30-метровою просторовою роздільною здатністю. А тому він широко використовується органами державної влади, науковими колами, приватним сектором та громадянсь-

ким суспільством для виявлення та вирішення проблем з вирубкою лісів. Окрім того, постійно удосконалюється алгоритм відображення втрати деревного покриву за супутниковими знімками протягом 2000-21 р.р. Він використовує кожне доступне зображення Landsat (Landsat-5, 7 і з 2013 р. Landsat-8) для виявлення втрати деревного покриву. Кількість зображень Landsat, доступних за рік, з часом розширює можливості локального моніторингу лісів.

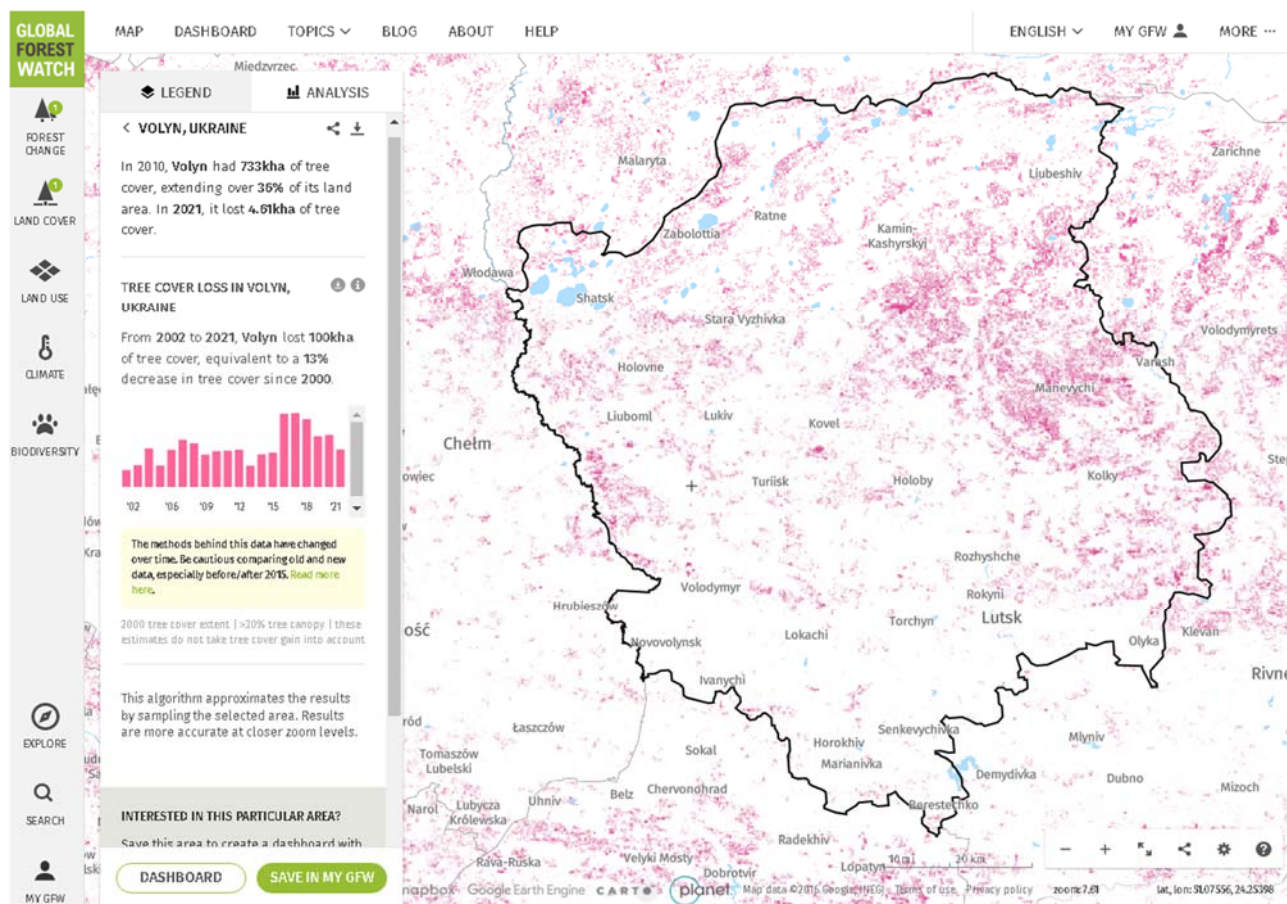


Рис. 10. Просторовий розподіл втрати лісів Волинської області протягом

2000-21 р.р. за даними датасету Global Forest Watch [12] /

Fig. 10. Spatial distribution of forest loss in Volyn oblast during 2000-21 according to the Global Forest Watch dataset [12]

За даними GFW протягом 2000-21 р.р. Волинська область втратила 103 тис. га деревного покриву, що еквівалентно зменшенню його на 13% порівняно з 2000 р. (рис. 9-10). Станом на цей базовий рік в межах Волинської області за даними GFW площа лісів становила 753 тис. га (37% площі області). Тут важливо зробити декілька ремарок. По-перше, вищенаведені цифри стосуються ділянок, зайнятих деревною рослинністю з проєктивним покриттям >30%. По-друге, алгоритм GFW апроксимує результати аналізу шляхом вибірки певної області (AoI – Area of interest). Точність результатів звісно ж підвищується із збільшенням масштабу.

За роками (рис. 9) найбільші втрати відбулись у 2016 р. (9,25 тис. га), 2017 р. (9,26 тис. га), 2018 р. (8,55 тис. га), 2019 р. (6,37 тис. га), 2020 р. (6,52 тис. га). В 2021 р. (4,68 тис. га) втрати зменшилися до рівня нижче середньої багаторічної втрати, яка становить за період 2000-21 р.р. 4,92 тис. га.

В просторовому розподілі втрат лісів (рис. 10) 53% припадає на 5 адміністративних районів, де втрати найбільші: Маневицький (27,6 тис.га), Камінь-Каширський (17,6 тис. га), Ковельський (8,8 тис. га), Ківерцівський (8,51 тис. га), Любомльський (8,41 тис. га).

Це свідчить, що у Волинській області в ос-

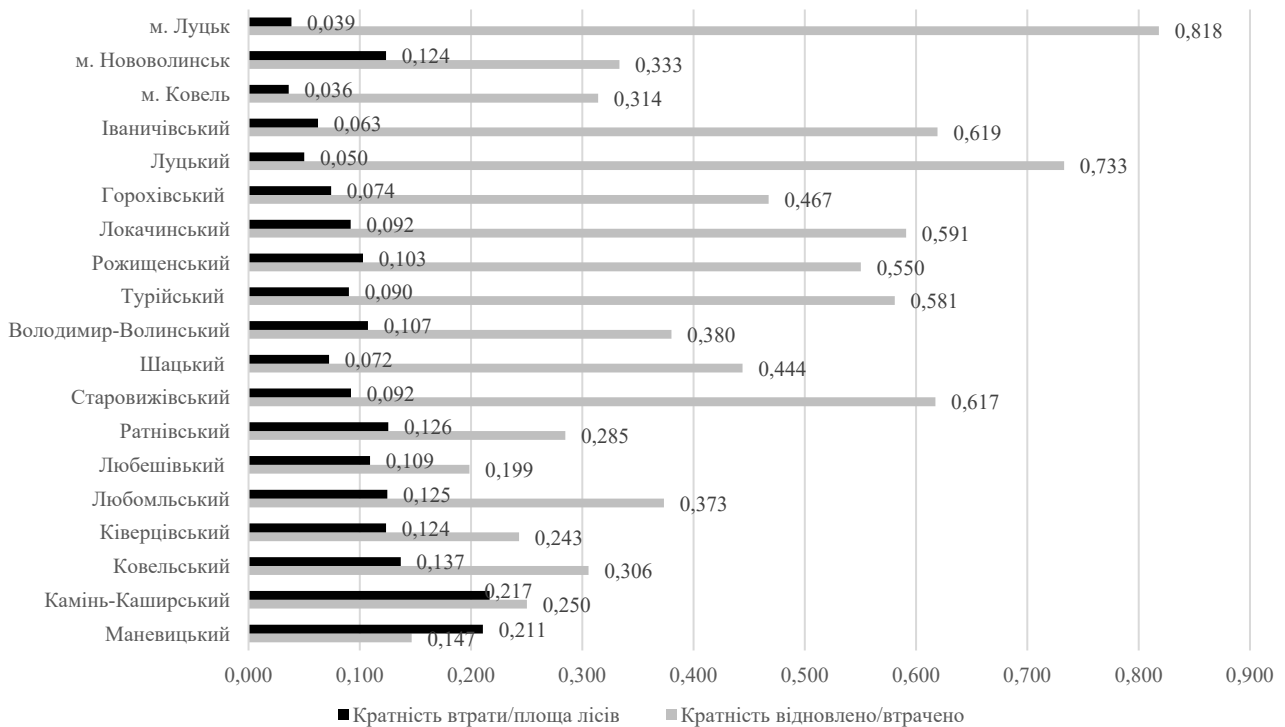


Рис. 11. Оцінка кратності втрати лісів Волинської області протягом 2000-21 р.р. за даними датасету Global Forest Watch [12] /
 Fig. 11. Estimation of the multiplicity of forest loss in Volyn region during 2000-21 according to the Global Forest Watch dataset [12]

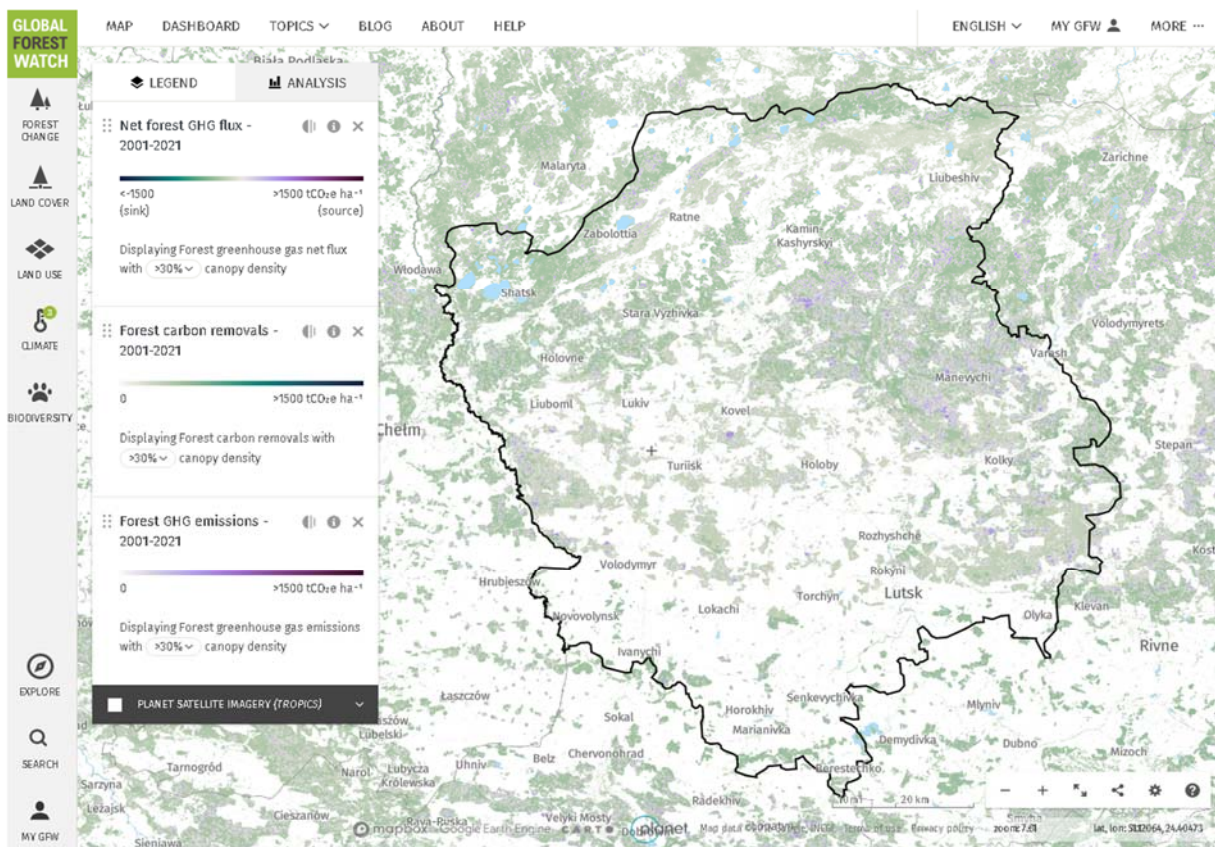


Рис. 12. Просторовий розподіл емісії та поглинання CO₂ лісами Волинської області протягом 2000-21 р.р. за даними датасету Global Forest Watch [12] /
 Fig. 12. Spatial distribution of CO₂ emissions and sequestration by forests in Volyn region during 2000-21 according to the Global Forest Watch dataset

танні роки активно відбувається знеліснення. Причому пов'язане воно не лише з заготівлею деревини, але й санітарними рубками для протидії поширенню шкідників лісу, які теж активізувались в останні роки внаслідок зміни клімату.

За просторовим розподілом відновлення лісів у Волинській області схожа тенденція – 58% приросту в 5 адміністративних районах: Камінь-Каширський (4,33 тис.га), Маневецький (4,05 тис.га), Ковельський (2,69 тис. га), Старовижівський (2,34 тис. га), Любомльський (3,14 тис. га).

Цікаво виглядає аналіз співвідношення втрат лісів до площі лісів, а також втрат лісів до обсягів лісовідновлення (рис. 11). Вище середньообласного показника (0,112) за кратністю втрат лісів до площі лісів Маневецький (0,211), Камінь-Каширський (0,217), Ковельський (0,137), Ківерцівський (0,124), Любомльський (0,125), Ратнівський (0,126) райони. Тобто, не дивлячись на те, що в

цих районах найбільші площі лісів, вони ж їх і найбільш інтенсивно втрачають. За кратністю втрат лісу до обсягів лісовідновлення вищий за середньообласний показник (0,424) мають: Луцький (0,733), Іваничівський (0,619), Старовижівський (0,617), Локачинський (0,591), Рожищенський (0,55), Горохівський (0,467), Шацький (0,444) райони. Іншими словами – це південні, частково лісостепові райони області, а вищезгадані північні поліські райони мають суттєво нижчі показники лісовідновлення по відношенню до втрат лісів.

Також дуже цікавим є просторовий розподіл емісії та поглинання CO₂ лісами Волинської області (рис. 12). Протягом 2000-21 р.р., за даними Global Forest Watch, ліси області були джерелом атмосферної емісії 1,68 млн. т CO₂. В той ж час вони асимілювали 5,26 млн. т CO₂, баланс становить -3,58 млн. т CO₂ [12].

Отже, підсумовуючи, за темпами знеліснен-

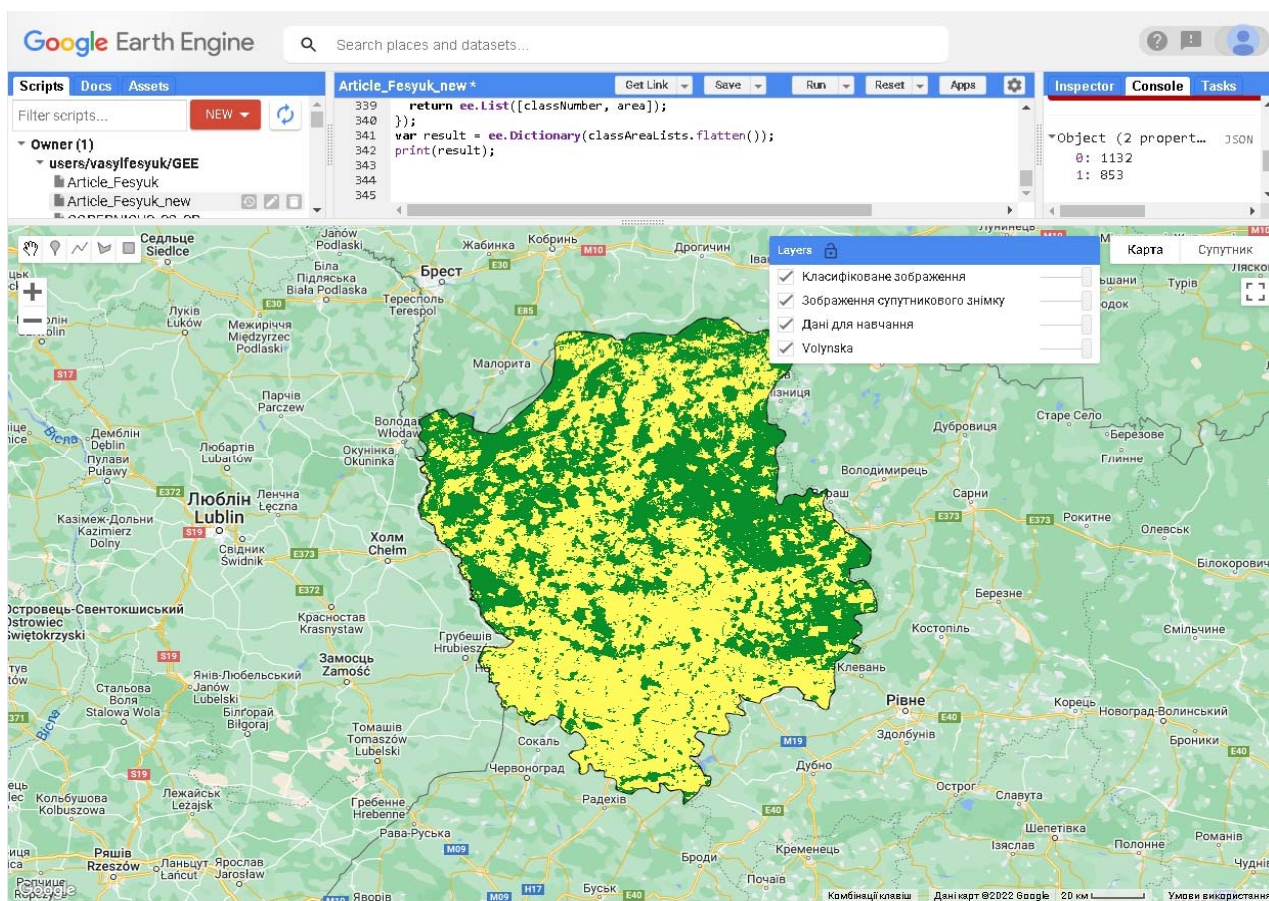


Рис. 13. Результати визначення площі лісів Волинської області у 2021 р. методом машинного навчання Random Forest в Google Earth Engine /
Fig. 13. Results of determining the forest area of Volyn region in 2021 using Random Forest machine learning in Google Earth Engine

ня серед областей України Волинь займає четверте місце, поступаючись Житомирській, Рівненській і Київській областям, а за масштабами лісовідновлення – п'яте, поступаючись згаданим областям і Чернігівській області. Не слід забувати, що Волинська область – одна з найменших в

Україні за площею (20144 км²). Вона перебуває на 20 з 25 місці за площею серед адміністративних областей [12].

Спробуємо верифікувати дані про лісистість Волинської області, отримані з різних відкритих джерел. Вони дещо відрізняються, як було

показано вище по тексту статті. Для верифікації використано дані ще з одного джерела – результати обробки супутникових знімків в Google Earth Engine з метою класифікації земного покриття методом машинного навчання Random Forest. Згаданий алгоритм розмежовує об'єкти на класи за умови їх відмінності від інших об'єктів за фізичними характеристиками. Він працює шляхом побудови дерев прийняття рішень під час тренування моделі й продукує моду для класів (класифікацій) або усереднений прогноз (регресію) побудованих дерев [6]. Для аналізу були обрані супутникові знімки місії Sentinel-2 за період 2016-21 р. р., оскільки ця місія започаткована Європейським космічним агентством саме для дистанційного моніторингу лісів, фіксування змін покриття Землі, відстеження наслідків стихійних лих.

Отримані цим методом значення площі лісів та лісистості Волинської області порівнювані з отриманими з інших джерел. Наприклад, за даними EOS Forest Monitoring площа лісів Волинської області у 2020 р. становила 1108,3 тис. га (рис. 4), за даними Global Forest Watch – 733 тис. га (рис. 11), за результатами визначення площі лісів в Google Earth Engine – 853 тис. га. Лісистість відповідно становила 55,02%, 36,38% і 42,35%. За офіційною інформацією з Екологічного паспорту області – 34%. Такі відмінності зрозумілі і пояснюються відмінністю в методиці визначення. Так EOS Forest Monitoring використовує елементи штучного інтелекту для розробки своїх алгоритмів аналізу, Global Forest Watch базується на алгоритмі, запропонованому в роботі Hansen M. et al. 2013 [21] і використовує супутникові знімки місії Landsat-5,7,8, а в Google Earth Engine використані стандартний і відомий метод машинного навчання Random Forest, запропонований Breiman L. 2001 в роботі [17], а також супутникові знімки місії Sentinel-2.

Висновки. Отже, підсумовуючи вищевикладене можна зробити висновки, що Волинська область останнім часом зазнає значної втрати лісів. Це підтверджують і дані офіційної статистики лісокористування і результати моніторингу з використанням методів дистанційного зондування Землі. Схиляємось до думки що найбільш реалістично втрати лісового покриття Волинської області описує датасет Global Forest Watch, розроблений лабораторією Global Land Analysis & Discovery кафедри географічних наук Університету Меріленду (США). За даними цього датасету протягом 2001-21 р.р. Волинська область втратила 103 тис. га деревного покриття, що еквівалентно зменшенню його на 13% порівняно з 2000 р.

Основними причинами втрат були вирубка і знищення лісів шкідниками, хворобами, пожежами. Заради справедливості варто зазначити, що в області відбуваються заходи лісовідновлення. Проте їх ефективність недостатня для запобігання знелісненню. Відношення площ відновлених лісів до втрачених найменше у Маневицькому (14,7%), а найвище у Луцькому (73,3%) районах.

Для поліпшення ситуації необхідна реалізація комплексу заходів раціонального використання і охорони лісів:

- завершення національної інвентаризації лісів відповідно до «Порядку проведення національної інвентаризації лісів», затвердженого Постановою КМУ №392 від 21.04.2021 р.;
- забезпечення відкритості наборів даних, пов'язаних з використанням лісів, розробка спеціалізованих датасетів, що дозволить залучити до процесу моніторингу лісів громадські організації та громадян;
- ефективний моніторинг лісів з використанням методів ДЗЗ, спеціалізованих онлайн-платформ та веб-сервісів;
- інтенсифікація робіт по створенню нових та розширенню мережі існуючих об'єктів і територій природно-заповідного фонду в лісових масивах; особливу увагу тут слід акцентувати не лише на масивах держлісфонду, але й на землях, зайнятих самосівом лісових культур;
- розширення екологічної мережі, особливо на локальному рівні, максимальне включення до неї масивів лісів, в т.ч. і самосіву;
- інвентаризація осушувальних систем (їх на Волині налічується 196), визначення ділянок, які надалі недоцільно використовувати для землеробства в межах систем, часткова ренатуралізація цих ділянок із залісненням;
- відновлення або створення полезахисних лісосмуг в межах системи контурно-меліоративного землеробства;
- розширення масштабів рекультивациі вироблених кар'єрів (в т.ч. і нелегальних), місць незаконного добування бурштину, стихійних сміттєзвалищ, малопродуктивних і деградованих земель (в т.ч. на схилах) із використанням заходів заліснення;
- забезпечення ефективної профілактики пожеж лісових та торфових масивів, хвороб та розвитку шкідників лісу;
- під час заходів лісовідновлення надавати перевагу природному поновленню, оскільки такі ліси стійкіші до шкідників і хвороб.

Список використаної літератури

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В.І. Лялька. – К.: Наукова думка, 2006. – 360 с.
2. Генік Я.В. Причини та наслідки знеліснення і деградації лісових екосистем в Україні / Я.В. Генік // Науковий вісник НЛТУ України, 2011. – Вип. 21. – С. 118-122.
3. Генсірук С.А. Ліси України / С.А. Генсірук. – Львів: Видавництво Наукового товариства ім. Шевченка, 2002. – 495 с.
4. Карпюк З.К. Природо-заповідний фонд Волинської області. Альбом-каталог / З.К. Карпюк, В.О. Фесюк, О.В. Антипюк // К.: ТОВ «Підприємство «Ві Ен Ей», 2018. – 140 с.
5. Карпюк З.К. Природно-заповідна і екологічна мережі Волинської області: монографія / З.К. Карпюк, В.О. Фесюк // – Луцьк: Терен, 2021. – 212 с.
6. Мельник О.В. Класифікація лісових масивів Волині за даними багатоспектральних супутникових знімків / О.В. Мельник, П.В. Манько // Міжнародний научний журнал "ScienceRise". – 2018. – Вип. 9 (50). – С.25-30. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.143139>
7. Мельник О.В. Класифікація лісовкритих територій за мультиспектральними даними / О.В. Мельник, П.В. Манько // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2019. – Вип. 12. – С.112-122. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-14)
8. Екологічні паспорти Волинської області за 2017-20 р.р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voladm.gov.ua/category/ekologichni-pasporti/1/>
9. Миронюк В.В. Узгодженість оцінок площі лісів за даними глобальної карти змін лісового покриву і мультиспектральних супутникових знімків / В.В. Миронюк, А.М. Білоус // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – №5. – С. 38-42.
10. Про продукт EOS Forest Monitoring. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eos.com/uk/blog/eosda-zapuskaye-novij-servis-eos-forest-monitoring/>
11. Результати візуалізації стану лісів Волинської області з датасету Global Forest Change. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change#dl=3;old=off;bl=off;lon=24.34126769060863;lat=51.76370582012041;zoom=8>
12. Результати візуалізації стану лісів Волинської області на онлайн платформі Global Forest Watch. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/cikpl>
13. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: колективна монографія / за ред. В.О. Фесюка. – К.: ТОВ «Підприємство Ві Ен Ей», 2016. – 316 с.
14. Часковський О.Г. Оцінювання втрат лісового покриву Українських Карпат дистанційними методами за матеріалами відкритих джерел супутникової інформації / О.Г. Часковський, Г.Г. Гриник // Науковий вісник НЛТУ України. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 66-73. <https://doi.org/10.36930/40300111>
15. Assessing Trends in Tree Cover Loss Over 20 Years of Data. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.globalforestwatch.org.translate.google/blog/data-and-research/tree-cover-loss-satellite-data-trend-analysis=uk&x=uk>
16. Boisvenue C. Integration of Landsat time series and field plots for forest productivity estimates in decision support models. / C. Boisvenue, B.P. Smiley, J.C. White, W.A. Kurz & M.A. Wulder // Forest Ecology and Management. – 2016. – Vol. 376. – P. 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.022>
17. Breiman L. Random Forests / L. Breiman // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45 (1). – P. 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
18. Fedoniuk M.A. Differences in the assessment of vegetation indexes in the EO-Browser and EOS LandViewer services (on the example of Lutsk district lands) / M.A. Fedoniuk, I.P. Kovalchuk, V.O. Fesyuk, R.V. Kirchuk, I.M. Merlenko, S.P. Bondarchuk // Conference Proceedings, International Scientific Conference “Geoinformatics–2021”, May 2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eage.in.ua/?page_id=2414
19. Global Forest Watch. “Fires in Volyn, Ukraine”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.globalforestwatch.org
20. Hansen Global Forest Change v 1.9 (2000-2021). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UMD_hansen_global_forest_change_2021_v1_9
21. Hansen M.C. Supplementary Materials for High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. / M.C. Hansen, P.V. Potapov, R. Moore, M.Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S.V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C.O. Justice // Science. – Vol. 342. – P. 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
22. Olofsson P. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change / P. Olofsson, G. Foody, M. Herold, S.V. Stehman, C.E. Woodcock, M.A. Wulder // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 148. – P. 42-57.
23. Weisse M. Forest Loss Remained Stubbornly High in 2021. / M. Weisse, L. Goldman // Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.Globalforestwatch.org/blog/data-and-research/global-tree-cover-loss-data-2021/>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Methodology and practical implementation of research of changes in forest coverage of Volyn region using remote sensing

Vasyl Fesyuk¹,

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Physical Geography,
¹Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voly Av., Lutsk, 43000, Ukraine;

Iryna Moroz²,

PhD (Chemistry), Associate Professor, Department of Material Science,
²Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine;

Mykola Fedonyuk²,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology;

Oleksandr Melnyk¹,

PhD (Technical), Associate Professor, Department of geodesy, land management and cadaster;

Serhii Polyanskyi¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography

ABSTRACT

Introduction. Forests are an integral component of the environment. However, in recent years, there has been a trend towards deforestation in the Volyn region. The main causes of losses were felling and destruction of forests by pests, diseases and fires.

The purpose of the article. The purpose of the study is to develop a methodology for assessing the forest cover of the Volyn region, its verification, assessment of the current state of the forest cover, determination of the trend of change and outline of the main measures to improve the protection and rational use of forest resources.

Methods. Research methods: expeditionary (to study the state of forest cover in a specific area of interest), mathematical statistics (for statistical processing of monitoring results), expert evaluation (to establish the reasons for changes in forest cover), remote sensing (to assess the extent of change in forest cover). Used Ecological passports of the Volyn region for 2017-20, materials of own research, data from web services for monitoring the forests, Sentinel-2 satellite images.

Results. Data on the area of forests and deforestation in the Volyn region, obtained from various sources, are compared with each other. For example, according to EOS Forest Monitoring data, the area of forests in the Volyn region in 2020 was 1,108 million ha, according to Global Forest Watch – 0,733 million ha, according to the results of determining the area of forests in Google Earth Engine – 0,853 million ha. Forest cover was 55,02%, 36,38% and 42,35%, respectively. According to official information from the Ecological Passport of the region – 34%. Such differences are understandable and are explained by the difference in the method of definition. For the period 2001-21 forest losses amounted to 0,103 million ha. The area of non-forest land for forestry purposes is growing. In 2017, their area amounted to 1692.3 ha, in 2018 - 32459.3 ha, in 2019 - 34136.86 ha, in 2020 - 42436.33 ha. Evidently, in 2018, there were changes in the approach to defining these lands. The area of dead forest plantations is decreasing. If in 2017 it amounted to 2915 ha, then in 2018 it decreased by 43.01%, in 2019 - by another 22.36%, in 2020 - by another 33.22%. Most of the forest plantations died from pests and diseases. The above-mentioned decrease in the area is explained by effective and large-scale sanitary felling in previous years. The area of forests destroyed by fires is insignificant. Forest losses were caused by extreme weather conditions in some years (2017, 2019).

Measures for the rational use and protection of forests in the Volyn region are proposed.

The scientific novelty consists in an attempt to compare different assessment methods for a definition of the current state of forest cover in the Volyn region and the trend of its change.

Practical significance is determined by the possibility of using the obtained results for the development of a set of measures for the rational use and protection of forests in the Volyn region.

Keywords: forests, forest area, forest loss, reforestation, deforestation, forest monitoring, forest area dynamics, spatial analysis of deforestation, use remote sensing for forest monitoring, online platforms and web services for forest monitoring.

References

1. *Multispectral methods of remote sensing of the Earth in the problems of nature management (2006). Ed. V.I. Lyalko. Kyiv, Naukova dumka, 360. [in Ukrainian]*
2. *Genyk, Y.V. (2011). Causes and consequences of deforestation and degradation of forest ecosystems in Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU, 21, 118-122. [in Ukrainian]*
3. *Gensiruk, S.A. (2002). Forests of Ukraine. Lviv: Publishing House of the Scientific Society named after Shevchenko, 495. [in Ukrainian]*
4. *Karpyuk, Z.K., Fesyuk, V.O., Antipyuk, O.V. (2018). Nature reserve fund of the Volyn region. Catalog album. Kyiv: TOV Pidpryjemstvo VNA, 140. [in Ukrainian]*
5. *Karpyuk, Z.K., Fesyuk, V.O. (2021). Nature reserve and ecological network of the Volyn region: monograph. Lutsk: Teren, 212. [in Ukrainian]*

6. Melnyk, O.V., Manko, P.V. (2018). Classification of forests in Volyn based on multispectral satellite images. *International scientific journal "ScienceRise"*, 9(50), 25-30. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.143139> [in Ukrainian]
7. Melnyk, O.V., Manko, P.V. (2019). Classification of forested areas based on multispectral data. *Modern technologies and calculation methods in construction: collection of scientific works*, 12, 112-122. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-14). [in Ukrainian]
8. *Ecological passports of the Volyn region for 2017-20*. Electronic resource. Available at: <https://voladm.gov.ua/category/ekologichni-pasporti/1/> [in Ukrainian]
9. Myronyuk, V.V., Bilous, A. M. (2017). Consistency of forest area estimates according to global forest change data and multispectral satellite image. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(5), 38-42. <https://doi.org/10.15421/40270507> [in Ukrainian]
10. *About the EOS Forest Monitoring product*. Electronic resource. Available at: <https://eos.com/uk/blog/eosda-zapuskaye-novij-servis-eos-forest-monitoring/> [in Ukrainian]
11. *Results of visualization of the state of the forests of the Volyn region from the Global Forest Change dataset*. Electronic resource. Available at: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change#dl=3;old=off;bl=off;lon=24.34126769060863;lat=51.76370582012041;zoom=8> [in Ukrainian]
12. *Results of visualization of the state of the forests of the Volyn region on the GFW online platform*. Electronic resource. Available at: <http://surl.li/cikpl> [in Ukrainian]
13. *Current ecological condition and prospects of ecologically safe sustainable development of Volyn region: collective monograph*. (2016). Ed. V.O. Fesyuk. Kyiv, TOV Pidprijemstvo VNA, 316. [in Ukrainian]
14. Chaskovskiy, O.H., Hrynyk, H. G. (2020). Assessment of the loss of forest cover of the Ukrainian Carpathians by remote methods based on the materials of open sources of satellite information. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30 (1), 66-73. <https://doi.org/10.36930/40300111> [in Ukrainian]
15. *Assessing Trends in Tree Cover Loss Over 20 Years of Data*. Electronic resource. Available at: https://www-global-forestwatch-org.translate.goog/blog/data-and-research/tree-cover-loss-satellite-data-trend-analysis/?x_tr_sl=aur=uk&x=uk
16. Boisvenue, C., Smiley, B. P., White, J. C., Kurz, W. A., & Wulder, M. A. (2016). Integration of Landsat time series and field plots for forest productivity estimates in decision support models. *Forest Ecology and Management*, 376, 284-297. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.022>
17. Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32 <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
18. Fedoniuk, M.A., Kovalchuk, I.P., Fesyuk, V.O., Kirchuk, R.V., Merlenko, I.M., Bondarchuk, S.P. (2021). Differences in the assessment of vegetation indexes in the EO-Browser and EOS LandViewer services (on the example of Lutsk district lands). *Conference Proceedings, International Scientific Conference "Geoinformatics-2021"*, May 2021. Electronic resource. Available at: https://eage.in.ua/?page_id=2414.
19. *Global Forest Watch. "Fires in Volyn, Ukraine"*. Electronic resource. Available at: www.globalforestwatch.org.
20. *Hansen Global Forest Change v1.9 (2000-2021)*. Electronic resource. Available at: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UMD_hansen_global_forest_change_2021_v1_9
21. Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O. (2013). *Supplementary Materials for High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*. *Science*, 742, 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
22. Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S.V., Woodcock, C.E., Wulder, M.A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
23. *Weisse, M., Goldman, L. Forest Loss Remained Stubbornly High in 2021 (2021)*. Electronic resource. Available at: <https://www.globalforestwatch.org/blog/data-and-research/global-tree-cover-loss-data-2021/>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 7 July 2022
Accepted 25 November 2022