

DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-51-57>

УДК 630*8:004.9:528.94

Волковський Юрій Сергійович

аспірант,

Національний лісотехнічний університет України

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9233-6508>**Дубовіч Іон Андрійович**

кандидат географічних наук, професор,

Національний лісотехнічний університет України

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3719-7957>**Yurii Volkovskiy, Ion Dubovich**

Ukrainian National Forestry University

**МІЖНАРОДНИЙ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ ДОСВІД
ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ****INTERNATIONAL ECOLOGICAL AND ECONOMIC
EXPERIENCE IN IMPLEMENTATION OF INFORMATION
TECHNOLOGIES IN FORESTRY**

Анотація. У статті звертається увага на зростаючу роль інформаційних технологій у сфері лісового господарства. Розглядаються інноваційні підходи до управління лісовими ресурсами, такі як використання геоінформаційних систем, дистанційного зондування, систем глобального позиціонування, блокчейну, аналізу великих даних, безпілотних літальних апаратів та інших технологій. Наведено приклади успішної інтеграції інформаційних технологій у лісовий сектор різних країн, зокрема Канади, США, Фінляндії, Швеції, Бразилії та Китаю. Визначено основні переваги впровадження інформаційних технологій, серед яких покращення точності даних, швидкість прийняття рішень і мінімізація ризиків. Водночас акцентовано увагу на таких викликах як висока вартість, потреба у кваліфікованих кадрах і технічні обмеження у віддалених регіонах. Науково-обґрунтована перспективність подальшого впровадження інформаційних технологій у лісове господарство.

Ключові слова: інформаційні технології, лісове господарство, стале лісокористування, сталий розвиток, цифровізація лісового господарства, зміни клімату, міжнародна співпраця.

Summary. The article explores the increasing role of information technologies in forestry, highlighting the integration of advanced technologies such as Geographic Information Systems, remote sensing, Global Positioning Systems, blockchain, and big data analytics in forest management. These technologies have revolutionized forestry practices by providing precise data on forest resources and enabling real-time monitoring and decision-making. Key areas of information technologies integration into forestry include Geographic Information Systems for mapping forest areas, ecosystem analysis, and monitoring land-use changes, remote sensing for detecting deforestation and assessing forest health, and digital platforms for resource management. The Internet of Things is also used for monitoring environmental factors like humidity and temperature through sensor networks, while machine learning algorithms support modeling and forecasting of forest ecosystem changes, such as fire risks, pests, and diseases. Countries such as Canada and the United States have been pioneers in applying Geographic Information Systems and remote sensing technologies for forest inventory and management. In the U.S., these technologies are employed in wildfire management, using real-time data and AI models to predict fire behavior and allocate resources efficiently. In Europe, Finland and Sweden utilize Light Detection and Ranging and UAVs for forest inventory and biodiversity monitoring, while AI and machine learning processes large datasets to predict tree growth and forest degradation. Countries like Australia and Indonesia have adopted UAVs for forest monitoring, enabling the detection of illegal logging activities and post-fire recovery. Big data analytics is crucial in addressing climate change, pest outbreaks, and market fluctuations, helping countries optimize forest management strategies. The integration of information technologies in forestry offers numerous advantages, including enhanced data accuracy, real-time monitoring, and better decision-making. However, challenges such as high costs, the need for skilled professionals, and infrastructure limitations in remote regions remain. Despite these obstacles, the potential of information technologies in fostering sustainable forestry management remains significant. In conclusion, information technology

integration in forestry holds great promise, with emerging technologies like AI, the Internet of Things, and blockchain poised to revolutionize forest management. International collaboration and the sharing of knowledge will be key to overcoming challenges and maximizing the benefits of these technologies for sustainable forestry.

Keywords: information technology, forestry, sustainable forest management, sustainable development, forestry digitalization, climate change, international cooperation.

Постановка проблеми. Лісове господарство є важливою складовою екологічної та економічної стабільності багатьох країн світу. Однак зростаючі загрози, такі як незаконна вирубка лісів, лісові пожежі, деградація екосистем та вплив зміни клімату, ставлять під загрозу сталий розвиток цієї галузі. Традиційні методи управління лісами не завжди ефективні в умовах сучасних викликів, оскільки вони не забезпечують достатньої оперативності, точності та прозорості даних для прийняття обґрунтованих рішень.

Сучасний стан лісового господарства вимагає інтеграції новітніх інформаційних технологій (ІТ), таких як геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування (ДЗ), безпілотні літальні апарати (БПЛА), блокчейн та аналітика великих даних. Ці технології здатні значно підвищити точність моніторингу лісових ресурсів, оптимізувати процеси управління та забезпечити реальний контроль за використанням лісових ресурсів у режимі реального часу.

Однак, незважаючи на значний потенціал ІТ для трансформації лісового господарства, існує низка проблем та викликів, які стримують їх повне впровадження. До основних проблем належать висока вартість технологій, відсутність кваліфікованих кадрів з міждисциплінарними знаннями в галузі лісового господарства та ІТ, а також інфраструктурні обмеження, які ускладнюють доступ до цих технологій у віддалених регіонах. Крім того, ще не всі країни мають необхідну законодавчу та нормативну базу для інтеграції ІТ у лісовий сектор, що створює додаткові бар'єри.

Таким чином, постає необхідність розробки та впровадження нових підходів до інтеграції інформаційних технологій у лісове господарство, що дозволить подолати існуючі проблеми та забезпечить сталий розвиток лісових ресурсів в умовах глобальних екологічних і економічних викликів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню використання інформаційних технологій у лісовому господарстві присвячено багато наукових праць переважно зарубіжних дослідників. У своїх роботах Christoforos Pappas [1], Jennifer Gabrys [2], Mahdi H. Miraz [4], Kai Luo [5] та інші аналізують результати впровадження інформаційних технологій у лісовому господарстві в різних країнах світу. Водночас, у сучасній літературі наголошується на потребі детального аналізу переваг та недоліків використання нових технологій для ефективного ведення лісового господарства.

Метою статті є висвітлення сучасних тенденцій та практик впровадження інформаційних технологій у лісовому господарстві різних країн світу.

Поставлена мета вимагає звернути увагу на використання географічних інформаційних систем, дистанційне зондування, систему глобального позиціонування, блокчейн технологій, аналітику великих даних та безпілотних літальних апаратів для управління лісовими ресурсами та ін. Особлива увагу слід звернути на приклади успішної інтеграції ІТ у лісове господарство в Канаді, США, Європі, Австралії, Індонезії, Німеччині, Бразилії, Китаї, Японії та Південній Кореї, а також проаналізувати міжнародний досвід впровадження інформаційних технологій у лісовому господарстві, визначити ключові тенденції, проблеми та перспективи їх застосування й відповідно переваги та виклики, пов'язані з впровадженням ІТ у лісовому господарстві та перспектив розвитку цього напрямку.

Наукове дослідження необхідно спрямувати на вивчення передових практик, що можуть бути корисними для розвитку цієї галузі в Україні, з урахуванням сучасних викликів і потреб.

Виклад основного матеріалу дослідження. Інформаційні технології стали невід'ємною частиною сучасного суспільства, забезпечуючи ефективне управління ресурсами, обробку великих обсягів даних та підтримку прийняття рішень у різних галузях економіки. У лісовому господарстві, яке відіграє ключову роль у підтримці еколого-економічної рівноваги, збереженні біорізноманіття та забезпеченні сировинними ресурсами, впровадження інформаційних технологій набуває особливого значення. Використання сучасних ІТ-рішень дозволяє підвищити продуктивність, оптимізувати управлінські процеси, а також забезпечити сталий розвиток лісових екосистем.

Міжнародний досвід демонструє широкий спектр підходів до використання інформаційних технологій у лісовому господарстві, включаючи географічні інформаційні системи, дистанційне зондування Землі, моделювання динаміки лісових екосистем, автоматизовані системи управління лісовими ресурсами та цифрову трансформацію облікових процесів. Успішне застосування таких технологій у країнах із різним рівнем економічного розвитку та кадрового потенціалу створює основу для обміну знаннями та адаптації найкращих практик до місцевих умов.

З появою інформаційних технологій у лісовому секторі відбулися значні зміни в підходах

операційної діяльності. Інтеграція ІТ у лісове господарство підвищила ефективність, стійкість та продуктивність галузі, трансформувавши традиційні методи ведення лісового господарства в «розумне» лісове господарство.

Багато країн світу все більше впроваджують ІТ у лісовому господарстві, використовуючи такі технології, як географічні інформаційні системи, дистанційне зондування, системи глобального позиціонування, блокчейн технології, аналітика масивів даних та безпілотні літальні апарати (БПЛА). Ці технології зробили революцію в управлінні лісового господарства, надаючи точні дані про лісові ресурси та уможливаючи моніторинг і прийняття рішень у реальному часі.

Основними напрями інтеграції ІТ у лісове господарство є:

1. Геоінформаційні системи – використання ГІС для картографування лісових масивів, аналізу екосистем та моніторингу змін у землекористуванні.

2. Дистанційне зондування – використання супутникових даних та аерофотозйомки для виявлення вирубок, оцінки стану лісів та моніторингу пожеж.

3. Цифрові платформи для управління ресурсами – автоматизація процесів планування, обліку та оцінки лісових ресурсів.

4. Інтернет речей – встановлення сенсорів для моніторингу вологості, температури та інших параметрів у лісах.

5. Моделювання та прогнозування – застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування ризиків пожеж, шкідників або змін у лісовій екосистемі та ін.

Проаналізуємо міжнародний досвід впровадження інформаційних технологій в лісовому господарстві (Табл.1). Піонером у впровадженні ГІС та ДЗ для картографування, інвентаризації та управління лісами в наш час можна уважати Канаду [1]. Сполучені Штати Америки (США) також інтегрували ІТ у свої стратегії управління пожежами, використовуючи моделювання для прогнозування та дані в режимі реального часу для ефективної боротьби з лісовими пожежами. Лісова служба США використовує моделі на основі штучного інтелекту для прогнозування поширення лісових пожеж. Ці моделі побудовані на історичних даних про пожежі та погодних умовах у реальному часі, що допомагає екстреним

Таблиця 1 – Впровадження інформаційних технологій в лісовому господарстві в різних країнах світу

Країна	Технологія	Опис технології	Приклади використання	Результати та переваги
Бразилія	Супутниковий моніторинг	Використання супутникових знімків для моніторингу змін у лісовому покриві	Програма PRODES для виявлення та оцінки рубки лісів у басейні Амазонки	Оперативне виявлення незаконної рубки, зниження втрат лісів
Канада	Супутниковий моніторинг	Використання радіолокаційних знімків для оцінки стану лісів	Система RADARSAT для моніторингу лісів, виявлення пожеж	Високоточний моніторинг, інтеграція з іншими джерелами даних
США	Географічні інформаційні системи	Створення детальних карт, аналіз біорізноманіття	Лісова служба США (USFS) для планування заходів з відновлення та управління пожежами	Точне планування, інтеграція даних з різних джерел
Фінляндія	Географічні інформаційні системи	Збір та аналіз даних про стан лісів	Національна лісова інвентаризація (NFI) для оцінки запасів деревини	Ефективне управління лісами, моніторинг змін
Швеція	Дронні технології	Використання дронів для моніторингу лісів	Оцінка стану лісів, виявлення шкідників та хвороб	Детальні знімки, оперативне виявлення проблем
Австралія	Дронні технології	Використання дронів для моніторингу лісових пожеж	Оцінка пошкоджень після пожеж, моніторинг поширення пожеж	Оперативна інформація, підвищення ефективності боротьби з пожежами
Німеччина	Інтернет речей (IoT)	Використання сенсорних мереж для моніторингу параметрів лісів	Сенсори для вимірювання вологості ґрунту, температури, рівня опадів	Оперативний моніторинг, превентивні заходи
Японія	Сенсорні мережі	Використання сенсорних мереж для попередження природних катастроф	Моніторинг зсувів ґрунту, вимірювання вологості, рухів земної поверхні	Передбачення зсувів, превентивні заходи

Джерело: розроблено авторами на основі [1–3; 7–9]

службам ефективніше розподіляти ресурси та мінімізувати збитки від пожеж.

У Європі такі країни, як Фінляндія та Швеція, впровадили цифровізацію в лісовому господарстві, використовуючи такі передові технології, як Light Detection and Ranging (LiDAR) для інвентаризації лісів та дрони для моніторингу стану лісів та біорізноманіття [2].

Алгоритми штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання використовуються для обробки великих масивів даних у лісовому господарстві, що дозволяє прогнозувати ріст дерев, спалахи хвороб та деградацію лісів. Ці технології особливо ефективні при аналізі величезних обсягів даних, отриманих із супутників або дронів, на обробку яких вручну експертам знадобилося б багато часу.

В Австралії моделі ШІ прогноують осередки виникнення лісових шкідників, аналізуючи зміни клімату, дані про стан дерев і тенденції популяції шкідників. Ці прогнози мають вирішальне значення для запобігання економічним втратам у лісовому секторі та збереження лісового біорізноманіття.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), широко відомі як дрони, стали еколого-економічно ефективним інструментом моніторингу лісів. БПЛА можуть швидко обстежувати важкодоступні для піших прогулянок території, надаючи детальні зображення та дані для оцінки стану лісів, виявлення незаконних рубок та аналізу відновлення після пожеж [3].

В Індонезії БПЛА широко використовуються для моніторингу лісів. Уряд Індонезії співпрацює з міжнародними організаціями для розгортання БПЛА, оснащених мультиспектральними камерами для виявлення ознак рубки та деградації лісів. Це стало потужним інструментом у боротьбі з незаконними плантаціями пальмової олії та лісозаготівлями, які загрожують біорізноманіттю країни.

У Німеччині також використовуються БПЛА для ведення лісового господарства. Вони надають дані з високою роздільною здатністю, які лісівники використовують для оцінки здоров'я дерев, оптимізації методів заготівлі та моніторингу росту нових насаджень. Автоматизуючи ці завдання, дрони скорочують час і трудовитрати, необхідні для оцінок, які базуються на великих масивах даних.

Технологія блокчейн, відома своїм застосуванням у фінансовій сфері, зараз використовується у лісовому секторі для підвищення прозорості та процедури простежуваності. Блокчейн можна використовувати для відстеження ланцюга постачання деревини та іншої лісової продукції, гарантуючи, що вона походить з лісів, де забезпечується реалізація сталого лісокористування [4].

Європейський Союз ініціював кілька блок-

чейн-проектів для відстеження деревини з сертифікованих лісів. Блокчейн фіксує кожен дію з деревиною від лісу до кінцевого споживача, що ускладнює незаконні дії з деревиною в ланцюгах постачання.

У Бразилії тестується система блокчейн для моніторингу продажу деревини та боротьби з незаконною вирубкою в Амазонії. Перевіряючи походження лісової продукції, блокчейн не лише допомагає захищати від незаконних дій, а й дає можливість споживачам бути впевненими в походженні деревини [5].

Аналітика великих даних у лісовому господарстві передбачає обробку великих масивів даних, таких як кліматичні дані, супутникові знімки та ринкові тенденції, для отримання інформації, яка допомагає практично впроваджувати концепцію сталого лісокористування. Ця аналітика має вирішальне значення для управління лісами в умовах зміни клімату, шкідників та ринкових коливань [2].

Китай застосовує підхід на основі великих даних для моніторингу процесів з лісовідновлення. Китайський уряд аналізує супутникові знімки, місцеві кліматичні дані та моделі землекористування, щоб оптимізувати посадку дерев у районах, найбільш вразливих до опустелювання та деградації.

Тим часом Японія та Південна Корея, інтегрували ІТ у свої стратегії управління лісовим господарством, використовуючи штучний інтелект та інтернет речей для «розумного» управління лісами [6].

Висновки. Інтеграція ІТ у лісовому господарстві має численні переваги. Вона підвищує точність і достовірність лісових даних, що дозволяє краще планувати і приймати еколого-економічне рішення. Це також полегшує моніторинг лісових ресурсів у режимі реального часу, допомагаючи на ранніх стадіях виявляти загрози, такі як шкідники, хвороби та пожежі.

Попри успіхи, впровадження ІТ у лісовому господарстві стикається з низкою викликів:

1. Фінансування – висока вартість технологій обмежує їх доступність для країн, що розвиваються.

2. Кадровий потенціал – потреба у фахівцях з ІТ та лісового господарства, які володіють міждисциплінарними знаннями.

3. Інфраструктурні обмеження – недостатньо розвинена інфраструктура у віддалених регіонах ускладнює впровадження технологій та ін.

Проте перспективи застосування ІТ у лісовому господарстві залишаються значними. Розвиток відкритих даних, вдосконалення алгоритмів аналізу великих даних і міжнародне співробітництво створюють нові можливості для сталого управління лісовими ресурсами.

Майбутнє ІТ у лісовому господарстві виглядає багатообіцяючим, оскільки нові технології, такі як штучний інтелект, інтернет речей та блокчейн, готові до подальшої революції в цьому секторі. ШІ та інтернет речей можуть покращити моніторинг та управління лісами, а блокчейн може забезпечити простежуваність та прозорість лісової продукції, сприяючи сталому веденню лісового господарства.

Міжнародний досвід впровадження інформаційних технологій у лісовому господарстві підкреслює трансформаційний потенціал ІТ у цьому секторі. Незважаючи на існуючі виклики, переваги інтеграції ІТ значно переважають їх, обіцяючи майбутнє сталого лісового господарства. Оскільки країни продовжують впроваджувати

цифровізацію в лісовому господарстві, міжнародна співпраця та обмін знаннями матимуть вирішальне значення для подолання викликів та максимізації переваг ІТ.

Впровадження інформаційних технологій у лісове господарство дозволяє значно підвищити ефективність управління лісовими ресурсами, знизити ризики природних катастроф та незаконної рубки, а також забезпечити стале використання лісових ресурсів. Різні країни світу активно використовують супутникові технології, ГІС, дрони, ІоТ та сенсорні мережі для моніторингу та управління лісами. Цей досвід може бути корисним для інших країн, які прагнуть покращити управління лісовими ресурсами.

Список використаних джерел:

1. Pappas Christoforos et al. (2022) Smartforests Canada: A Network of Monitoring Plots for Forest Management Under Environmental Change. *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80767-2_16
2. Gabrys, J. (2020) Smart forests and data practices: From the Internet of Trees to planetary governance. *Big Data & Society*, no. 7(1). DOI: <https://doi.org/10.1177/2053951720904871>
3. SFI. (2020) Smart Forest Bringing Industry 4.0 to the Norwegian forest sector annual report 2020 [R]. Norway: SFI SmartForest.
4. Miraz, Mahdi H. et al. (2015) A review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT). *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*. P. 219–224.
5. Luo, K., Saeedi, S., Badger, J., Liang, S. (2018) Using the Internet of Things to Monitor Human and Animal Uses of Industrial Linear Features. In: R. Luaces, M., Karimipour, F. (eds) *Web and Wireless Geographical Information Systems. W2GIS 2018. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10819. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-90053-7_9
6. Ghazali M. A., Othman K. A., Hakimie Mohd Isa M. A. and Asyraf Baharuddin M. (2017) Wireless Sensor Development for Malaysian Forest Monitoring and Tracking System, 2017 21st International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC). Bangkok, Thailand, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSEC.2017.8443938>
7. Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Available at: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
8. Canadian Space Agency. Available at: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/>
9. Resource Efficiency and Climate Technologies. Available at: <https://www.fraunhofer.de/en/research/fraunhofer-strategic-research-fields/resource-efficiency-and-climate-technologies.html>

Стаття надійшла до редакції 13.12.2024