


УДК 630.8:027.31

## Дослідження нових технологій та інновацій у сфері лісового господарства

Лозінська Т.П.<sup>1</sup> , Задорожний А.І.<sup>2</sup> , Масальський В.П.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Білоцерківський національний аграрний університет

<sup>2</sup> Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»

 E-mail: Лозінська Т.П. lozinskata@ukr.net; Задорожний А.І. andriy.zadorozhnyy@uzhnu.edu.ua; Масальський В.П. vlad.masalskiy71@gmail.com



Лозінська Т.П., Задорожний А.І., Масальський В.П. Дослідження нових технологій та інновацій у сфері лісового господарства. «Агробіологія», 2024. № 1. С. 268–276.

Lozinska T., Zadorozhnyy A., Masalskiy V. Research of new technologies and innovations in the field of forestry. «Agrobiology», 2024. no. 1, pp. 268–276.

Рукопис отримано: 10.05.2024 р.

Прийнято: 19.05.2024 р.

Затверджено до друку: 24.05.2024 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2024-187-1-268-276

У статті висвітлено вплив новітніх технологій на підвищення ефективності лісогосподарської діяльності та покращення стану лісових екосистем, а також ключове значення у сталому розвитку лісів. Окреслено важливість стійкого ведення лісового господарства в умовах зміни клімату, зосереджуючись на необхідності інтеграції сучасних технологій для ефективного управління лісовими ресурсами. Основну увагу приділено використанню дистанційного зондування та геоінформаційних систем (ГІС), які дозволяють моніторити стан лісів і виявляти ранні ознаки стресу в лісових екосистемах. Ці технології сприяють своєчасному реагуванню на екологічні зміни, зменшуючи негативні впливи на лісове господарство. Додатково розглянуто методи селекції та використання деревних видів, адаптованих до змінюваних кліматичних умов, що підвищують стійкість лісових насаджень до майбутніх змін клімату. Важливе значення мають біотехнології та генетична інженерія, які дозволяють покращувати адаптивні властивості лісів, сприяючи вуглецевому балансу і боротьбі з глобальним потеплінням через виробництво біомаси та поліпшення властивості вуглецевого зв'язування. Акцентовано увагу на впровадженні автоматизованих систем управління, що інтегрують різні технологічні рішення для забезпечення безперервного моніторингу лісів, що передбачає контроль за вирубкою, боротьбу з лісовими пожежами та збереження біорізноманіття. Визначено, що стійке лісове господарство потребує глибокої інтеграції екології, кліматології, генетики, інформаційних технологій і соціальних наук. Використання цих технологій дозволяє ефективно моніторити великі та важкодоступні лісові території, забезпечуючи точні дані про стан лісів, виявлення змін у вегетації та ранніх ознак екологічних стресів. Це сприяє своєчасному реагуванню на екологічні зміни й мінімізації негативного впливу на лісові екосистеми. Використання передових технологій та інноваційних підходів має ключове значення у забезпеченні адаптації лісових екосистем до майбутніх кліматичних змін, зокрема їх стійкість та спроможність виконувати життєво важливі функції в глобальній екосистемі.

**Ключові слова:** лісове господарство, управління лісовими ресурсами, лісові екосистеми, ГІС-технології, біотехнології, штучний інтелект, машинне навчання.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Ліси мають критично важливе значення у підтримці біологічної різноманітності, регулюванні кліматичних умов та підтримці водного балансу на планеті. Водночас вони є життєво необхідними ресурсами для еконо-

міки багатьох країн. Однак, через глобальні виклики, такі як зміна клімату, незаконна вирубка лісів та нестійке господарювання, лісові ресурси потребують інноваційних підходів до їх управління та збереження [1]. З огляду на це, розробка та впровадження новітніх технологій

у сфері лісового господарства є актуальним завданням для наукових досліджень. Використання сучасних інструментів, таких як дистанційне зондування, ГІС-технології, штучний інтелект та біотехнології, може значно покращити ефективність лісового господарства, мінімізувати вплив на екосистему та забезпечити більш точне й оперативне реагування на екологічні зміни [2].

Актуальність статті також обумовлена необхідністю аналізу ефективності впровадження нових технологічних рішень у різних країнах. Важливо вивчати кейси успішного застосування інновацій, щоб ідентифікувати кращі практики та виявити потенційні проблеми і обмеження, отримані дані допоможуть формулювати рекомендації для поліпшення політики управління лісовими ресурсами на національному та міжнародному рівнях [12]. Загалом, дослідження нових технологій та інновацій у лісовому господарстві відкриває можливості для сталого розвитку лісових територій, зберігаючи їх природні функції, сприяючи екологічній безпеці та економічному прогресу.

**Мета дослідження** – дослідити й надати оцінку сучасним технологічним рішенням та інноваційним практикам, які застосовують у управлінні лісовими ресурсами.

**Матеріал і методи дослідження.** У межах дослідження було використано: Метод інформаційно-технологічного забезпечення. Збір даних є основою для всіх наступних аналізів та впроваджень. Для ефективного збору даних у сфері лісового господарства можна застосувати дистанційне зондування, використання дронів та сенсорних мереж, що дозволяють збирати геопросторову інформацію про стан лісів. Цей процес передбачає агрегацію інформації з різних джерел (спутникові знімки, дрони, польові дослідження) для створення комплексної бази даних. Використання інформаційних систем, таких як ГІС (геоінформаційні системи), допомагає в організації та аналізі даних. Застосування методів машинного навчання та штучного інтелекту для обробки зібраних даних, виявлення тенденцій та зразків, що можуть вказувати на потенційні проблеми або можливості для інновацій [3].

Метод моделювання та опису подій. Розробка моделей, які можуть симулювати різні сценарії управління лісами, зокрема прогнозування впливу кліматичних змін, розробка стратегій збереження біодиверситету та впровадження нових технологій у лісовому господарстві. Детальний опис технологічних процесів та інноваційних методів у лісовому господарстві. Це передбачає дослідження

та опис механізмів, які використовують для управління лісовими ресурсами, їх ефективності та впливу на екосистеми. Розробка методик оцінки впливу впровадження технологій на стан лісових ресурсів, що допомагає зрозуміти реальну користь та можливі недоліки використання технологічних інновацій [4].

Метод системного впровадження. Розробка стратегій та планів для інтеграції нових технологій у практику лісового господарства, що передбачає визначення необхідних ресурсів, часових меж та етапів реалізації проєктів. Встановлення систем моніторингу для відстеження результатів впровадження технологій. Використання зворотного зв'язку для корекції та оптимізації процесів. Організація навчальних програм для фахівців лісової галузі з метою підвищення їх компетенцій у сфері використання новітніх технологій і методів аналізу даних [5].

**Результати дослідження та обговорення.** Свійке ведення лісового господарства стає все більш актуальним у світлі глобальних екологічних викликів, зокрема зміни клімату. Це поняття охоплює методи управління лісами, які забезпечують їхнє довготривале збереження як екосистем, важливих для біорізноманіття, так і як ресурсів, що мають економічне значення. Одним з основних принципів стійкого лісового господарства є баланс між вирубкою дерев та їхнім природним відновленням. Це означає, що лісозаготівлю слід проводити з урахуванням регенеративної здатності лісу, не перевищуючи її й забезпечуючи природне або штучне відновлення вирубаних площ. Такий підхід допомагає утримувати екологічну рівновагу й підтримувати біорізноманіття. Науково-технічний прогрес пропонує нові рішення для зміцнення стійкості лісів до змін клімату. Однією з таких технологій є використання дистанційного зондування Землі та ГІС (геоінформаційні системи) для моніторингу стану лісів і виявлення ранніх ознак стресу в лісових екосистемах, подібні технології дозволяють вчасно виявляти зміни у вегетації, водному балансі та інших екологічних показниках, що можуть свідчити про несприятливі впливи зміни клімату [6].

Іншим важливим напрямом є селекція і використання деревних видів, що краще адаптовані до змінюваних кліматичних умов, це дає можливість включати виведення нових сортів, які здатні витримувати більші температурні коливання, засуху чи підвищену вологість. Застосування таких видів у лісовідновленні допомагає підвищити стійкість лісових насаджень до майбутніх кліматичних змін.

Використання біотехнологій та генетичної інженерії також відкриває потенціал для покращення адаптивних властивостей лісових ресурсів. Наприклад, генетично модифіковані дерева, які виробляють більше біомаси або мають покращені властивості вуглецевого зв'язування, можуть сприяти вуглецевому балансу і, в такий спосіб, контролювати глобальне потепління. Крім того, розробка і впровадження стійких лісогосподарських практик, які зменшують втручання в природні процеси, важливі для підтримки цілісності екосистеми [7]. Такі методи як контрольовані випалювання або альтернативні способи збору лісопродукції, які мінімізують пошкодження лісового покриву, є ключовими для підтримання здоров'я і продуктивності лісів.

Стійке ведення лісового господарства в умовах зміни клімату є складним завданням, яке потребує інтеграції низки дисциплін: екології, кліматології, генетики, інформаційних технологій та соціальних наук. Застосування новітніх технологій для зміцнення стійкості лісів є критично важливим для забезпечення їх здатності адаптуватися до непередбачуваних майбутніх змін і продовжувати виконувати свої життєво важливі функції у глобальній екосистемі [6]. Дослідимо практики використання зазначених технологій.

1. Дистанційне зондування дозволяє вченим та лісівникам отримувати великомасштабні дані про стан лісів без необхідності фізичного відвідування місцевості, це є важливим для моніторингу великих і важкодоступних лісових територій. Супутникові знімки можуть виявляти зміни в лісовому покриві, такі як вирубки, захворювання дерев або пошкодження від стихійних лих, крім того, такі дані допомагають оперативно реагувати на негативні події, зменшуючи їх вплив на екосистему. Геоінформаційні системи (ГІС) є інструментом, що дозволяє інтегрувати, зберігати, аналізувати та візуалізувати геопросторові дані. У контексті лісового господарства, ГІС може бути використано для картографування лісових ресурсів, планування вирубок та відновлення лісів, а також для аналізу впливу різних чинників на лісові екосистеми. Водночас такі системи забезпечують можливість ретельної аналітики, що є ключовим для прийняття обґрунтованих управлінських рішень [8]. Інтеграція даних дистанційного зондування в ГІС дозволяє створювати багатовимірні моделі лісових територій, що включають різні аспекти: від висоти дерев, їх здоров'я, до типів рослинності та гідрологічних умов, що допомагає не лише визначати поточний стан лісу, а також моделювати майбутні зміни за різних сценаріїв впливу (рис. 1).

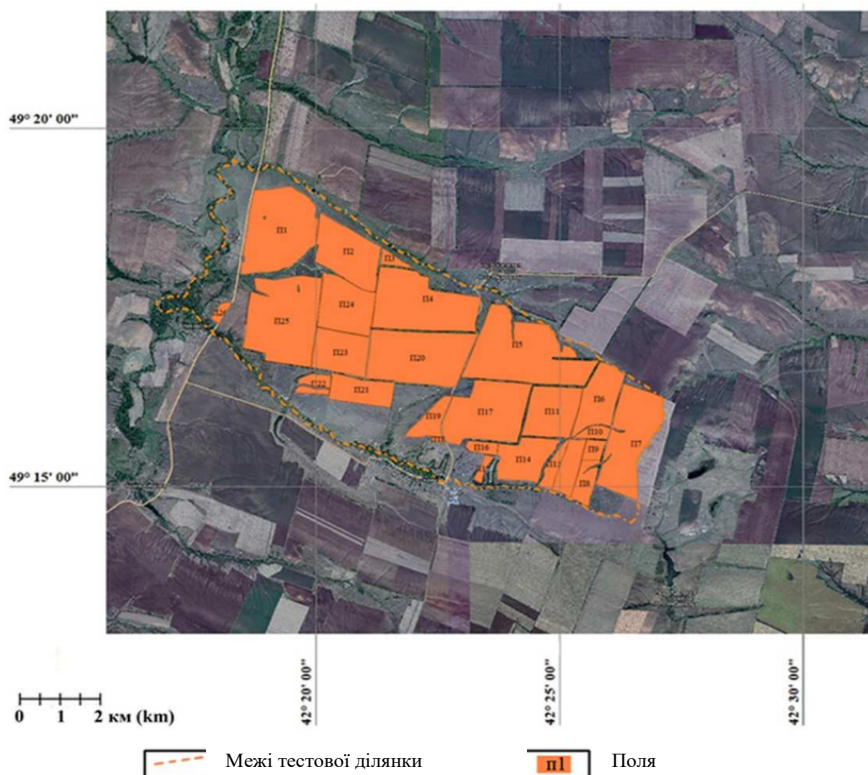


Рис. 1. Інтеграція даних дистанційного зондування лісових масивів та земельних ділянок на засадах ГІС [9].

Застосування дистанційного зондування та ГІС не лише покращує управління лісами, а також сприяє сталому розвитку, наведені технології дозволяють виявляти та прогнозувати зміни в лісових екосистемах, що є важливим для адаптації до зміни клімату, захисту біодиверситету та забезпечення екологічної рівноваги. Вони стають незамінними інструментами в руках лісівників, екологів і політиків, які прагнуть збалансувати потреби сьогодення зі збереженням природи для майбутніх поколінь [10].

2. Впровадження автоматизованих систем управління лісовими ресурсами. Лісове господарство стикається з численними викликами, серед яких контроль за вирубкою лісів, боротьба з лісовими пожежами, забезпечення біорізноманіття та відновлення лісів. Традиційні методи управління часто не можуть ефективно вирішувати ці завдання через великі обсяги необхідних даних та їх складність. Впровадження автоматизованих систем дозволяє збирати, аналізувати та використовувати великі обсяги інформації, що значно підвищує ефективність управління.

Автоматизовані системи управління лісовими ресурсами передбачають різні технологічні інструменти, такі як дистанційне зондування, ГІС, дрони, сенсори та інтегровані програмні платформи, подібні інструменти дозволяють вести безперервний моніторинг стану лісів, визначати зони вирубки, відстежувати динаміку лісових екосистем і відповідно реагувати на зміни [11]. Також сучасні системи можуть включати елементи штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу отриманих даних і прийняття оптимальних рішень.

Впровадження автоматизованих систем значно підвищує точність та оперативність управління лісовими ресурсами й саме автоматизація дозволяє швидко реагувати на лісові пожежі, вчасно виявляти незаконні вирубки та планувати відновлювальні заходи [12]. Водночас ці системи сприяють більшій прозорості та підзвітності в управлінні лісовими ресурсами, забезпечуючи доступ до інформації для урядових і некомерційних організацій, науковців та громадськості.

3. Біотехнології у лісовому господарстві. В сучасному лісовому господарстві біотехнології мають вирішальне значення у підвищенні ефективності управління лісовими ресурсами. Зокрема, використання генетично модифікованих організмів (ГМО) для покращення росту та врожайності лісових насаджень, а також методи біологічного контролю шкідників і хвороб, стають все більш поширеними. Ці підходи дозволяють не лише збільшити продуктивність

лісів, а також забезпечити їх стійкість до екологічних змін та зниження впливу шкідливих чинників [13].

Впровадження ГМО у лісівництво має на меті розробку деревних порід, які краще адаптовані до жорстких умов навколишнього середовища, мають підвищену продуктивність та стійкість до хвороб. Наприклад, дерева, модифіковані для кращого виживання в умовах засухи, можуть витримувати більші перепади вологи без втрати продуктивності. Також генетична модифікація може спрямовуватися на прискорення росту дерев, що значно скорочує час між висадкою та збором врожаю. Проте, використання ГМО в лісівництві викликає дискусії щодо етичних і екологічних наслідків. Існують побоювання щодо потенційного розповсюдження модифікованих генів на дикі популяції, що може змінити природні екосистеми [14]. Тому перед впровадженням таких технологій необхідно провести глибоке дослідження потенційних ризиків.

Біологічний контроль шкідників і хвороб у лісових насадженнях є альтернативою хімічним методам захисту, такий підхід полягає у використанні природних хижаків, паразитів або мікроорганізмів для контролю чисельності шкідливих видів. Наприклад, введення певних видів жуків для контролювання шкідливих комах або використання фунгіцидних бактерій для запобігання розповсюдженню грибкових захворювань [15]. Біологічний контроль дозволяє зменшити застосування хімічних пестицидів, що є корисним для збереження природного біодиверситету і здоров'я екосистем. Однак, цей метод також потребує обережного підходу та глибокого розуміння взаємодій між різними видами в екосистемі, щоб уникнути негативних екологічних наслідків.

Біотехнології в лісовому господарстві відкривають нові можливості для підвищення продуктивності та стійкості лісових насаджень, їх впровадження потребує ретельного планування та контролю, а також врахування етичних і екологічних зобов'язань [16]. Освоєння і вдосконалення біотехнологічних методів у майбутньому можуть значно зміцнити лісове господарство, зробивши його більш продуктивним і стійким до викликів сучасного світу.

4. Інформаційні технології та штучний інтелект. У сучасному світі штучний інтелект (ШІ) стає невід'ємною частиною багатьох галузей, зокрема в лісовому господарстві. Ця галузь включає управління величезними обсягами даних: від моніторингу стану лісів до планування вирубок та відновлення. Традиційні методи обробки цих даних часто вияв-

ляються повільними та неефективними й саме ШІ дозволяє автоматизувати обробку даних, виявляти закономірності та прогнозувати майбутні тенденції, що важливо для оперативного реагування на екологічні зміни та управління лісовими ресурсами (рис. 2).

Розробка алгоритмів ШІ починається зі збору та обробки даних. Це можуть бути супутникові знімки, дані з дронів, метеорологічні дані, інформація про стан дерев та їх здоров'я. Сучасні технології дистанційного зондування і ГІС дозволяють збирати великі масиви даних, які алгоритми ШІ можуть ефективно обробляти [18]. Машинне навчання допомагає розробляти моделі, які можуть прогнозувати зміни у лісових насадженнях, виявляти ранні ознаки захворювань або шкідливих організмів. Після розробки, алгоритми ШІ можуть бути інтегровані у різноманітні системи управління лісовими ресурсами, що дозволяє лісничим і керуючим ефективніше розподіляти ресурси, планувати заходи з охорони та відновлення лісів, а також швидко реагувати на аварійні ситуації, такі як пожежі або масові вирубки. Крім того, ШІ може допомогти у взаємодії з громадськістю, аналізуючи звернення громадян і автоматизуючи процеси відповідей [19].

етичного використання ШІ. Впровадження алгоритмів штучного інтелекту у лісовому господарстві відкриває нові горизонти для ефективного управління лісовими ресурсами, що не лише збільшує продуктивність роботи, а також сприяє сталому розвитку лісів.

Машинне навчання є однією з найбільш перспективних галузей штучного інтелекту, яка знаходить своє застосування у різноманітних сферах, включаючи екологію та лісове господарство. Його можливості у прогнозуванні розвитку лісів та оцінці впливу антропогенних чинників відкривають нові напрями для збереження та сталого управління лісовими ресурсами [20]. Машинне навчання допомагає аналізувати великі обсяги даних про ліси, отриманих через дистанційне зондування, моніторинг та інші джерела, для більш точного прогнозування їх розвитку та впливу людської діяльності (рис. 3).

Машинне навчання використовує різні алгоритми для аналізу інформації про лісові екосистеми, зокрема регресійні моделі та нейронні мережі можуть аналізувати темпи росту дерев, вплив кліматичних змін на ліси, а також ефективність заходів щодо відновлення лісів. Такі моделі здатні обробляти часові ряди та просто-

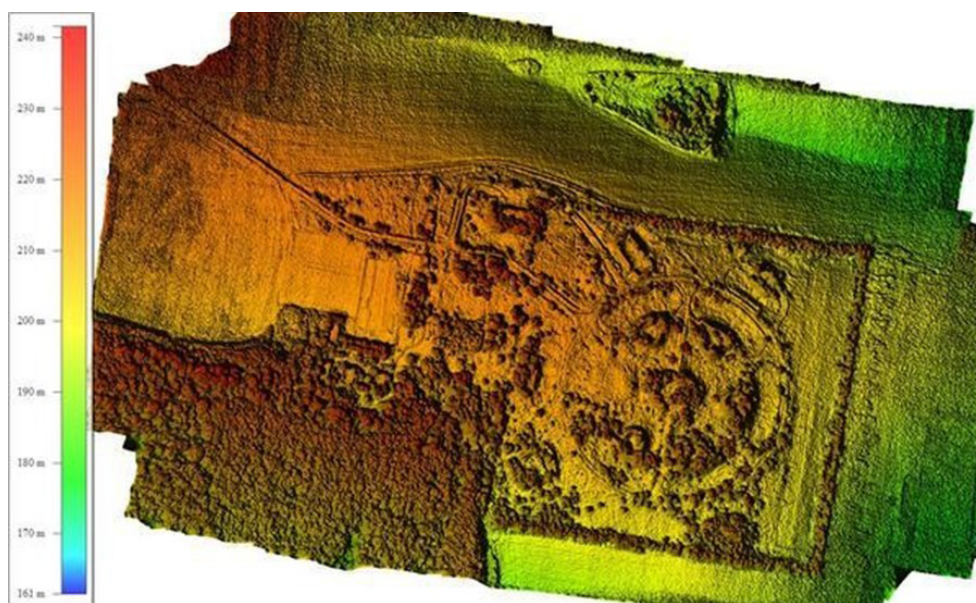


Рис. 2. Цифрова карта аналізу температурних зон лісового масиву на основі ШІ [17].

Застосування ШІ в лісовому господарстві пропонує значні переваги, зокрема підвищення точності даних і зменшення витрат часу на їх аналіз. Однак, існують виклики, такі як потреба в якісних ініціальних даних для навчання алгоритмів, забезпечення кібербезпеки та конфіденційності інформації, а також питання

рові дані, що є важливим для оцінки динаміки лісових змін. Машинне навчання дозволяє виявляти та аналізувати антропогенні чинники, що впливають на ліси, такі як забудова, сільське господарство, промисловість та інші. Моделі можуть прогнозувати як зміни в землекористуванні вплинуть на лісові екосистеми, допома-

гаючи планувати заходи для мінімізації негативного впливу. Машинне навчання відкриває значні можливості для розвитку сталого лісового господарства, воно може дозволити не лише прогнозувати майбутнє лісів, а також активно впливати на сьогодення, здійснюючи обґрунтоване управління та збереження лісових ресурсів [21]. В таблиці 1 визначимо порівняльні переваги та особливості використання інновацій для прогнозування розвитку лісового господарства.

Підходи, засновані на інноваціях і нових технологіях, мають враховувати принципи сталого розвитку, що означає не лише забезпечення

високої продуктивності лісового господарства, а також збереження біорізноманіття, захист екосистем і зменшення впливу на довкілля. Використання інновацій дозволить збалансувати економічні, екологічні та соціальні аспекти управління лісами. Перспективи подальшого застосування інновацій у прогнозуванні розвитку лісів та оцінці впливу антропогенних чинників обнадійливі. Розвиток новітніх технологій та методик дозволить не лише підвищити ефективність лісового господарства, а також сприятиме збереженню та сталому розвитку лісових ресурсів на благо майбутніх поколінь.

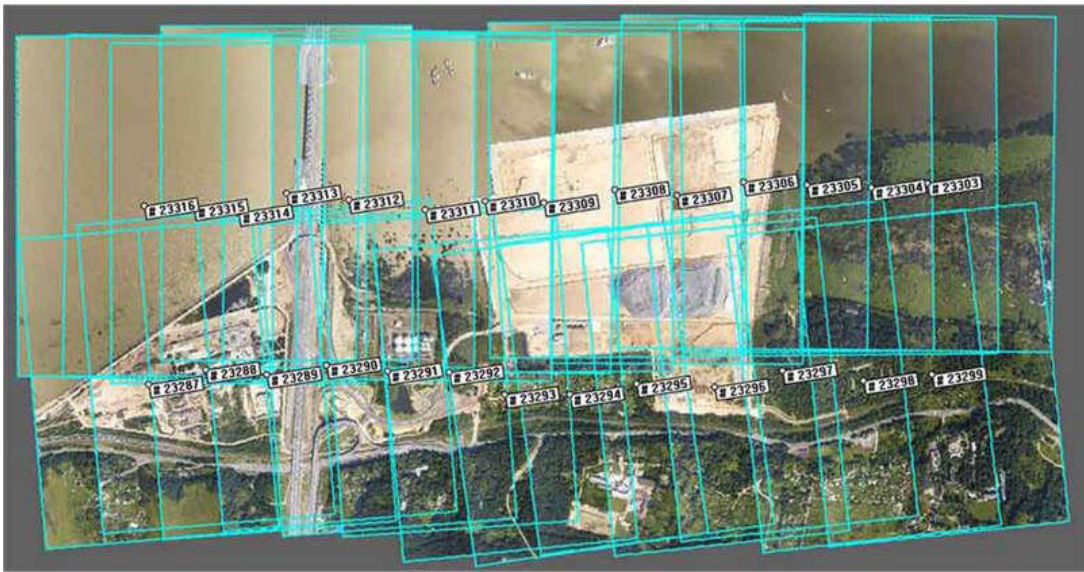


Рис. 3. Карта машинного навчання та зонування території на основі цифрової зйомки [17].

Таблиця 1 – Провідні інновації та технології у сфері прогнозування розвитку лісового господарства (розроблено авторами)

№	Назва	Принцип роботи	Ключова перевага	Рівень ефективності використання	Вплив на лісове господарство
1	Дистанційне зондування лісового господарства	Використання супутників та дронів для моніторингу стану лісових насаджень та оцінки їх здоров'я	Можливість швидкого огляду великих територій та отримання даних у реальному часі	Висока	Покращення моніторингу та управління лісами
2	Впровадження автоматизованих систем управління лісовими ресурсами	Автоматизація процесів планування, моніторингу та аналізу лісових ресурсів	Зменшення помилок, збільшення продуктивності та оптимізація ресурсів	Висока	Ефективне використання та охорона лісів
3	Біотехнології у лісовому господарстві	Розробка та застосування генетично модифікованих організмів для покращення здоров'я та врожайності лісів	Підвищення стійкості лісів до хвороб та змін клімату	Середня	Збереження та підвищення біорізноманітності
4	Інформаційні технології та штучний інтелект	Використання ІТ та ШІ для аналізу даних, планування лісового господарства та прийняття рішень	Підвищення точності прогнозування та оптимізація управлінських процесів	Висока	Покращення управління та стратегічне планування

**Висновки.** Дослідження нових технологій та інновацій у сфері лісового господарства виявило значні перспективи для покращення стійкості лісів щодо екологічних викликів, особливо до зміни клімату. Застосування передових методів і технологій відкриває нові можливості для збалансованого управління лісовими ресурсами, що є ключовим для збереження екосистем і забезпечення їх довготривалого виживання. Визначено, що технології дистанційного зондування та геоінформаційні системи (ГІС) сприяють моніторингу здоров'я лісів і виявленню ранніх ознак екологічного стресу. Ці інструменти дозволяють швидко оцінювати вплив зміни клімату на лісові масиви та адаптувати управлінські стратегії відповідно до виявлених змін.

Аналіз показав, що розвиток біотехнологій і генетичної інженерії сприяє створенню нових сортів дерев, які краще пристосовані до екстремальних умов, таких як високі температури або засухи, що допомагає зміцнити стійкість лісових насаджень до антропогенних і природних змін. Автоматизація процесів управління лісовими ресурсами значно підвищує ефективність виконання лісгосподарських заходів. Це передбачає планування вирубок, відновлення лісів та оперативне реагування на лісові пожежі й інші надзвичайні події. Застосування штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу великих обсягів екологічних даних відкриває нові можливості для прогнозування розвитку лісових екосистем і впливу на них різних чинників. Це сприяє розробці більш точних і науково обґрунтованих управлінських рішень.

Проведене дослідження підкреслює необхідність постійного вдосконалення технологічних і наукових підходів у лісовому господарстві, що є вирішальним для забезпечення їх стійкості та продуктивності в умовах глобальних змін.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Челепіс Т.О., Соловій І.П. Бізнес-моделі ведення лісового господарства на основі надання послуг екосистем: аналіз інноваційних підходів. Науковий вісник НЛТУ України. 2022. № 32(3). С. 43–48. DOI: 10.36930/40320307.
2. Використання ГІС технологій для модернізації систем моніторингу об'єктів природно-заповідного фонду України / А.О. Глухонець та ін. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2022. № 2(98). С. 40–54.
3. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету. Економічні науки. 2023. Вип. 47. С. 16–26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.
4. The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine / В. Hablovskyi et al. Journal of Ecological Engineering. 2023. No 24(7). P. 254–262. DOI: 10.12911/22998993/164753.
5. Македон В.В., Михайленко О.Г. Управління внутрішніми інвестиційними проектами в регіональному промисловому кластері підприємств. Підприємництво та інновації. 2022. № 25. С. 56–63. DOI: 10.32782/2415-3583/25.9
6. Small Forest mobile app: availability, functionality and use / I. Aleksiiuk et al. Sylwan, 2023. No 167(6). P. 384–396. DOI: 10.26202/sylwan.2023038.
7. Toivonen R., Vihemäki H., Toppinen A. Policy narratives on wooden multistorey construction and implications for technology innovation system governance. Forest Policy and Economics. 2021. 125(1). URL: [https://www.researchgate.net/publication/349238048\\_Policy\\_narratives\\_on\\_wooden\\_multistorey\\_construction\\_and\\_implications\\_for\\_technology\\_innovation\\_system\\_governance](https://www.researchgate.net/publication/349238048_Policy_narratives_on_wooden_multistorey_construction_and_implications_for_technology_innovation_system_governance)
8. Strategic management in the system model of the corporate enterprise organizational development / N. Avanesova et al. Economics and Finance. 2021. No 1. Vol. 9. P. 18–30.
9. Цифрова модель рельєфу SRTM. URL: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm>.
10. Український лісовий портал. URL: <https://www.lisportal.pp.ua/97319/>
11. Смирнова С.М., Смирнов В.М., Островерха В.О. Наукові засади управління розвитком природно-заповідних територій. Агросвіт. 2020. № 2. С. 77–83.
12. Лазоренко-Гевель Н.Ю. Створення інформаційних моделей даних моніторингу природних комплексів. Містобудування та територіальне планування. 2014. № 51. С. 275–283.
13. Поліщук Є.А., Гойванюк М.П., Василюк Ю.В. Лісництво як напрям смарт спеціалізації регіону: європейський досвід. Ефективна економіка. 2020. № 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8265>. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.7.22
14. Лозінська Т.П., Задорожний А.І., Мамчур В.В. Стратегії та методики зменшення ризику лісових пожеж та поширення шкідників. Наукові доповіді НУБіП. 2024. № 1/107. URL: <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/10774/1/strategii%20ta%20metodi.pdf>
15. Никифорак В., Сеньовська Я., Човбан І. Використання інноваційних технологій у лісовому господарстві України. ЛОГОС. Мистецтво наукової думки. 2019. № 4. С. 22–25. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2617-7064/article/view/193>
16. Дзюбенко О.М. Інвестиційно-інноваційне забезпечення розвитку лісового сектору України: інституціональні засади та напрями диверсифікації: монографія. Житомир: Житомирська політехніка, 2019. 384 с.

17. Landsat Science. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>

18. Розробка методики створення і оновлення картографічної основи з використанням космічних знімків від супутників «SUPER VIEW-1» / С. Вертегел та ін. Екологічна безпека та природокористування. 2022. № 41(1). С. 89–101. DOI: 10.32347/2411-4049.2022.1.89-101

19. Мakedon В.В., Валіков В.П., Федьора С.С. Удосконалення управління промисловими підприємствами на основі стратегій інноваційного розвитку. Європейський вектор економічного розвитку. 2019. № 1. С. 108–125.

20. Chabaniuk V., Polyvach K. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2020. No 3(201). P. 5–32. DOI: 10.15407/kvt201.03.005

21. Управління земельними ресурсами та землекористуванням: базові засади теорії, інституціалізації, практики: монографія / А.М. Третяк та ін. Біла Церква: ТОВ "Білоцерківдрук", 2021. 227 с.

## REFERENCES

1. Chelepis, T.O., Soloviy, I.P. (2022). Bizen-modeli vedennya lisovoho hospodarstva na osnovi nadannya posluh ekosystem: analiz innovatsiynykh pidkhodiv [Forest management business models based on sustainable provision of ecosystem services: a review of innovative approaches]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny* [Scientific Bulletin of UNFU]. no. 32(3), pp. 43–48. DOI: 10.36930/40320307.

2. Hlukhonets, A.O., Morozova, T.V., Morozov, A.V., Kobzyska, O.P., Samoilenko, I.V., Stetsiuk, L.M. (2022). Vykorystannya HIS tekhnolohiy dlya modernizatsiyi system monitorynhu ob'yektiv pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrayiny [Use of GIS technologies for modernization of monitoring systems of objects of the nature and preserve fund of Ukraine]. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya* [Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management]. no. 2(98), pp. 40–54.

3. Makedon, V.V., Bailova O.O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya tsyfrovyykh tekhnolohiy v diyal'nist' promyslovykh pidpryyemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Naukovyy visnyk Khersons'koho derzhavnoho universytetu. Ekonomichni nauky* [Scientific Bulletin of Kherson State University. Economic Sciences]. Issue 47, pp. 16–26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.

4. Hablovskiy, B., Hablovskaya, N., Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., Kononenko, M. (2023). The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. no. 24(7), pp. 254–262. DOI: 10.12911/22998993/164753.

5. Makedon, V.V., Mykhaylenko, O.G. (2022). Upravlinnya vnutrishnimy investytsiynymy proektamy v rehional'nomu promyslovomu klasteri pidpryyemstv [Management of internal investment projects in the re-

gional industrial cluster of enterprises]. *Pidpryyemnytstvo ta innovatsiyi* [Entrepreneurship and innovation]. no. 25, pp. 56–63. DOI: 10.32782/2415-3583/25.9.

6. Aleksiuk, I., Hrynyk, H., Dyak, T., Hrynyk, O., Zadorozhnyy, A. (2023). Small Forest mobile app: availability, functionality and use. *Sylwan*, no. 167(6), pp. 384–396. DOI: 10.26202/sylwan.2023038.

7. Toivonen R., Vihemäki H., Toppinen A. (2021). Policy narratives on wooden multi-storey construction and implications for technology innovation system governance. *Forest Policy and Economics*. no. 125(1). Available at: [https://www.researchgate.net/publication/349238048\\_Policy\\_narratives\\_on\\_wooden\\_multi-storey\\_construction\\_and\\_implications\\_for\\_technology\\_innovation\\_system\\_governance](https://www.researchgate.net/publication/349238048_Policy_narratives_on_wooden_multi-storey_construction_and_implications_for_technology_innovation_system_governance)

8. Avanesova, N., Tahajuddin, S., Hetman, O., Serhiienko, Y., Makedon, V. (2021). Strategic management in the system model of the corporate enterprise organizational development. *Economics and Finance*. no. 1, Vol. 9, pp. 18–30.

9. SRTM digital terrain model. Available at: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm>.

10. Ukrainyskyi lisovyy portal [Ukrainian forest portal]. Available at: <https://www.lisportal.pp.ua/97319/>.

11. Smyrnova, S.M., Smirnov, V.M., Ostroverkha, V.O. (2020). Naukovi zasady upravlinnya rozvytkom pryrodno-zapovidnykh terytoriy [Scientific principles of managing the development of nature-protected territories]. *Ahrosvit* [Agroworld]. no. 2, pp. 77–83.

12. Lazorenko-Hevel, N.Yu. (2014). Stvorennya informatsiynykh modeley danykh monitorynhu pryrodnykh kompleksiv [Creation of information models of monitoring data of natural complexes]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya* [Urban planning and territorial planning]. no. 51, pp. 275–283.

13. Polishchuk, Y., Goivanyuk, M., Vasylyshen, Yu. (2020). Lisnytstvo yak napryam smart spetsializatsiyi rehionu: yevropeys'kyi dosvid [Forestry as a priority of smart specialization of the regions: european experience]. *Efektivna ekonomika* [Efficient economy]. no. 7. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8265> DOI: 10.32702/2307-2105-2020.7.22.

14. Lozins'ka, T.P., Zadorozhnyy, A.I., Mamchur, V.V. (2024). Stratehiyi ta metodyky zmenshennya ryzyku lisovykh pozhezh ta poshyrennya shkidnykh [Strategies and techniques for reducing the risk of forest fires and the spread of pests] *Naukovi dopovidi NUBiP* [Scientific reports of NUBiP]. no. 1/107. Available at: <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/10774/1/strategii%20ta%20metodi.pdf>

15. Nykyforak, V., Seniovska, Y., Chovban, I. (2019). Vykorystannya innovatsiynykh tekhnolohiy u lisovomu hospodarstvi ukrayiny [The using of the innovative technologies in forestry of Ukraine]. *ΛΟΓΟΣ. Mystetstvo naukovoyi dumky*. [ΛΟΓΟΣ. The art of scientific mind]. no. 4, pp. 22–25. Available at: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2617-7064/article/view/193>

16. Dzyubenko, O.M. (2019). Investytsiyno-innovatsiynne zabezpechennya rozvytku lisovoho sektoru Ukrayiny: instytutsional'ni zasady ta napryamy dyversyfikatsiyi: monohrafiya [Investment and innovation



support for the development of the forest sector of Ukraine: institutional foundations and directions of diversification]. Zhytomyr, Zhytomyr Polytechnic, 384 p.

17. Landsat Science. Available at: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>

18. Vertegel, S., Vyshnyakov, V., Gurelia, V., Slashtin, S., Piskun, O., Kharchenko, S., Moroz, V. (2022). Rozrobka metodyky stvorennya i onovlennya kartohrafichnoyi osnovy z vykorystanniam kosmichnykh znimkiv vid suputnykiv «SUPER VIEW-1» [Development of the methodology for creating and updating the cartographic base using space images from the "SUPER VIEW-1" satellites]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya* [Environmental Security and Nature Management]. no. 41(1), pp. 89–101. DOI: 10.32347/2411-4049.2022.1.89-101.

19. Makedon, V.V., Valikov, V.P., Fedyora, S.S. (2019). Udoskonalennya upravlinnya promyslovymy pidpryyemstvamy na osnovi stratehiy innovatsiynoho rozvytku [Improving the management of industrial enterprises based on innovative development strategies]. *Yevropeys'kyy vektor ekonomichnoho rozvytku* [European vector of economic development]. no.1, pp. 108–125.

20. Chabaniuk, V., Polyvach, K. (2020). Critical properties of modern geographic information systems for territory management. *Cybernetics and Computer Engineering*, no. 3(201), pp. 5–32. DOI: 10.15407/kvt201.03.005.

21. Tretiak, A., Tretiak, V., Kuriltsiv, R., Priadka, T., Tretiak, N. (2021). Upravlinnia zemel'nymy resursamy ta zemlekorystuvanniam: bazovi zasady teorii, instytutsiolozatsii, praktyky [Management of land resources and land use: basic principles of theory, institutionalization, practice]. *Bila Tserkva, Belotserkivdruk LL*, 227 p.

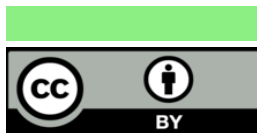
### Research of new technologies and innovations in the field of forestry

**Lozinska T., Zadorozhnyy A., Masalskyi V.**

The article highlights the impact of the latest technologies on increasing the efficiency of forestry activities and improving the condition of forest ecosystems

and a key role in forests sustainable development. The article outlines the importance of sustainable forestry in the context of climate changes, focusing on the need to integrate modern technologies for effective management of forest resources. The main attention is paid to the use of remote sensing and geographic information systems (GIS), which allow monitoring the condition of forests and detecting early signs of stress in forest ecosystems. These technologies contribute to a timely response to environmental changes, reducing the negative impacts on forestry. In addition, selection methods and the use of tree species adapted to changing climatic conditions, which increase the resistance of forest plantations to future climate changes, were considered. Biotechnology and genetic engineering play an important role in improving the adaptive properties of forests, contributing to the carbon balance and combating global warming through biomass production and improved carbon sequestration properties. Attention is focused on the implementation of automated management systems that integrate various technological solutions to ensure continuous monitoring of forests, including logging control, forest fire control and biodiversity conservation. It was determined that sustainable forestry requires deep integration of ecology, climatology, genetics, information technology and social sciences. The use of these technologies allows effective monitoring of large and hard-to-reach forest areas, providing accurate data on the state of forests, identifying changes in vegetation and early signs of environmental stress. This contributes to a timely response to environmental changes and minimization of negative impact on forest ecosystems. The use of advanced technologies and innovative approaches plays a key role in ensuring the forest ecosystems adaptation to future climate changes, ensuring their sustainability and ability to perform vital functions in the global ecosystem.

**Key words:** forestry, forest resource management, forest ecosystems, GIS technologies, biotechnology, artificial intelligence, machine learning.



Copyright: Лозінська Т.П., Задорожний А.І., Масальський В.П. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Лозінська Т.П.

Задорожний А.І.

Масальський В.П.

<https://orcid.org/0000-0002-7119-0759>

<https://orcid.org/0000-0002-0664-5462>

<https://orcid.org/0000-0001-8642-7782>