

**ПРАВОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
ЯК ІНСТРУМЕНТУ МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ****LEGAL ASPECTS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS
AS A TOOL FOR FOREST MONITORING**

Пасат М.О., студентка IV курсу факультету юстиції
Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого

Стаття присвячена дослідженню сучасних тенденцій застосування штучного інтелекту в лісовому господарстві України в умовах євроінтеграції та повоєнного відновлення. Предметом дослідження є аналіз національного законодавства та міжнародних нормативно-правових актів, що регулюють охорону лісів і впровадження інноваційних технологій для їх захисту. Метою статті є всебічний аналіз правових аспектів запровадження штучного інтелекту в систему екологічного моніторингу лісів, що дозволить підвищити ефективність боротьби з незаконною вирубкою, збереженням екосистем та відновленням лісових масивів. Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання, як: 1) визначення основних правових норм, які регулюють моніторинг лісів із застосуванням штучного інтелекту; 2) оцінка міжнародних практик використання штучного інтелекту у лісовому господарстві для вдосконалення національного законодавства; 3) виявлення основних правових бар'єрів та обґрунтування необхідності створення уніфікованої нормативно-правової бази для впровадження штучного інтелекту у сфері лісового господарства. Методологічну основу дослідження складають порівняльно-правовий, діалектичний та системно-структурний методи, які дозволили проаналізувати ефективність сучасних правових механізмів у сфері охорони лісів у різних країнах, виявити ключові підходи до їх застосування та оцінити їх відповідність міжнародним стандартам для подальшої імплементації в національне законодавство. Розглянуто сучасні особливості впровадження штучного інтелекту у сфері лісового господарства, що є важливим напрямом у контексті екологічних викликів та євроінтеграційного процесу. Особливу увагу приділено ролі штучного інтелекту в моніторингу лісових екосистем, що включає своєчасне виявлення змін, незаконної вирубки, а також відновлення лісів після закінчення бойових дій. Доведено, що застосування штучного інтелекту у поєднанні з традиційними методами дозволяє швидше реагувати на екологічні загрози та здійснювати ефективний контроль за станом лісових екосистем. Впровадження таких інноваційних технологій дозволить посилити екологічний контроль у лісовому господарстві, забезпечуючи оперативне реагування на екологічні загрози. Наголошено на необхідності модернізації національної політики в сфері охорони лісів з урахуванням міжнародного досвіду та стандартів, що дозволить впровадити інноваційні технології, включаючи штучний інтелект, у систему моніторингу лісів. Вказано на необхідність створення єдиного законодавчого акту, що регулюватиме моніторинг довкілля, зокрема, у сфері лісового господарства. Крім того, рекомендовано внесення змін до Стратегії управління лісами до 2035 року, схваленої Кабінетом Міністрів України, з метою запровадження штучного інтелекту для моніторингу і управління лісами. Розширення функціоналу Геопорталу «Ліси України» шляхом використання технологій збору даних у режимі реального часу та інтеграції штучного інтелекту сприятиме ефективному моніторингу лісових екосистем і оперативному прийняттю управлінських рішень.

Ключові слова: цифровізація екологічного моніторингу, інновації, гармонізація національного законодавства, право ЄС, лісове господарство.

The article is devoted to examining modern trends in applying artificial intelligence in Ukraine's forestry within the context of European integration and post-war recovery. The research subject includes the analysis of national legislation and international legal acts regulating forest protection and the implementation of innovative technologies for their safeguarding. The article aims to provide a comprehensive analysis of the legal aspects of integrating artificial intelligence into the forest environmental monitoring system, enhancing the efficiency of combating illegal logging, preserving ecosystems, and restoring forested areas. To achieve this aim, the following objectives were set: 1) identify key legal norms governing forest monitoring using artificial intelligence; 2) evaluate international practices of artificial intelligence application in forestry to improve national legislation; 3) identify major legal barriers and the need for a unified legal framework for artificial intelligence implementation in forestry. The methodological basis of the study includes comparative-legal, dialectical, and systemic-structural methods, enabling an analysis of the effectiveness of modern legal mechanisms in the field of forest protection across different countries, identifying key approaches to their application, and evaluating their alignment with international standards for subsequent integration into national legislation. The study also examines contemporary aspects of artificial intelligence implementation in forestry, highlighting its significance in addressing environmental challenges and advancing the European integration process. Special attention is given to the role of artificial intelligence in monitoring forest ecosystems, including timely detection of changes, illegal logging, and forest restoration after military actions. The study demonstrates that the application of artificial intelligence, combined with traditional methods, allows for faster responses to environmental threats and ensures effective control over the condition of forest ecosystems. Implementing such innovative technologies will strengthen environmental control in forestry, providing prompt responses to ecological threats. Emphasis is placed on the necessity of modernizing national forest protection policies, considering international experience and standards, to facilitate the integration of innovative technologies, including artificial intelligence, into forest monitoring systems. The necessity of creating a unified legislative act regulating environmental monitoring, particularly in forestry, is underlined. Additionally, recommendations include amending the Forest Management Strategy until 2035, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine, to introduce artificial intelligence for forest monitoring and management. Expanding the functionality of the Geoportal «Forests of Ukraine» through the implementation of real-time data collection technologies and the integration of artificial intelligence will contribute to effective monitoring of forest ecosystems and prompt decision-making in forest management.

Key words: digitalization of environmental monitoring, innovation, harmonization of national legislation, EU law, forestry.

Постановка проблеми. На сьогодні система моніторингу лісових екосистем в Україні потребує суттєвого вдосконалення для ефективного вирішення екологічних викликів та відновлення країни після воєнних дій. Існуюча нормативно-правова база є недостатньою для впровадження інноваційних технологій, таких як штучний інтелект, що могли б значно підвищити ефективність контролю за станом лісів, швидкість реагування на загрози та якість управління екосистемами. Відсутність єдиного законодавчого акту, який би регулював моніторинг довкілля, зокрема

лісів, а також відсутність електронної бази екологічних даних ускладнюють оцінку екологічних збитків, завданих лісовому господарству. Виникає потреба у створенні дієвої законодавчої бази для впровадження інноваційних технологій, включаючи штучний інтелект, у систему моніторингу лісів, що дозволить забезпечити надійний і прозорий підхід до збереження природних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У дослідженнях зарубіжних науковців приділяється значна увага інноваційним підходам у використанні штучного інте-

лекту для моніторингу лісових екосистем. Наприклад, праці Silvestro D. та співавторів [19] вказують на здатність штучного інтелекту значно покращити збереження біорізноманіття, особливо шляхом швидкої ідентифікації ризиків для екосистем. Аналіз технологій штучного інтелекту для боротьби з незаконною вирубкою, представлений Salian I. [18], демонструє, як застосування алгоритмів машинного навчання може підвищити ефективність реагування на екологічні загрози. У своїй роботі Smith R. [20] акцентує увагу на ролі штучного інтелекту в розвитку стратегій збереження лісових ресурсів, зокрема шляхом об'єднання даних з різних джерел для забезпечення комплексного підходу до управління лісами. Jones V. [14] підкреслює важливість сенсорних технологій для створення так званих «цифрових лісів», які дозволяють забезпечити безперервний моніторинг лісових масивів з високою точністю. Крім того, дослідження Dobberstein L. [12] та інших авторів демонструють, як технології штучного інтелекту та супутникових знімків можуть бути застосовані для покращення управління лісовими екосистемами, де створюється цифровий «двійник» лісів для ефективного реагування на природні та антропогенні загрози.

Метою статті є всебічний аналіз правових аспектів запровадження штучного інтелекту в систему екологічного моніторингу лісів, що спрямовано на підвищення ефективності боротьби з незаконною вирубкою, забезпечення збереження екосистем та сприяння відновленню лісових масивів. Досягнення цієї мети передбачає виконання таких завдань: аналіз правових норм, що регулюють моніторинг лісів із застосуванням штучного інтелекту; проведення оцінки міжнародних практик використання штучного інтелекту в лісовому господарстві для вдосконалення національного законодавства; виявлення основних правових бар'єрів та потреби у розробці єдиної правової бази для ефективного впровадження штучного інтелекту у сфері лісового господарства.

Матеріали і методи. У дослідженні застосовано комплекс методів, які забезпечили всебічний аналіз правових аспектів впровадження штучного інтелекту в екологічний моніторинг лісів. Методологічну основу складають порівняльно-правовий, діалектичний та системно-структурний методи. Порівняльно-правовий метод використано для аналізу національного та міжнародного законодавства у сфері охорони лісів, спрямованого на виявлення найбільш ефективних практик із застосування штучного інтелекту для моніторингу екосистем, що дозволило визначити можливості їх адаптації до українського контексту. Системно-структурний метод сприяв дослідженню взаємозв'язків між правовими, екологічними та технологічними компонентами регулювання лісового господарства, підкреслюючи значення інноваційних підходів для ефективного управління природними ресурсами. Діалектичний метод дозволив дослідити динаміку змін у правовому регулюванні лісового господарства, особливо в умовах євроінтеграції та необхідності відновлення лісів після воєнних дій, що сприяло оцінці ефективності сучасних правових механізмів з урахуванням екологічних викликів. Використання системного підходу забезпечило узгодження результатів із міжнародними стандартами, сприяючи формуванню пропозицій щодо вдосконалення національної нормативно-правової бази та інтеграції штучного інтелекту як інструменту екологічного моніторингу в Україні.

Виклад основного матеріалу. У сучасних умовах технологічного розвитку штучний інтелект (далі – ШІ) стає ключовою інновацією для різних галузей, і лісове господарство не є винятком. Зокрема, українські науковці визначають ШІ як функцію штучної свідомості, яка забезпечує здатність самонавчання на основі отриманих даних та набутих знань, що дозволяє виконувати доручення людини з максимальною точністю та ефективністю [25, с. 23]. У контексті лісового господарства штучний

інтелект дозволяє виявляти закономірності, передбачати ризики та розпізнавати зміни в стані лісових масивів. Як відзначає О. Савчук, розвиток інноваційної інфраструктури є важливим для забезпечення «екологічно орієнтованого й раціонального використання лісових ресурсів», що не лише знижує тиск на довкілля, але й підвищує ефективність у боротьбі з такими загрозами, як незаконна вирубка та лісові пожежі [24, с. 54].

Прогрес у впровадженні штучного інтелекту для моніторингу за лісами став можливим завдяки кільком ключовим факторам, які актуалізувалися в останні роки. Збільшення обчислювальної потужності комп'ютерів у поєднанні з удосконаленням алгоритмів машинного навчання відкрили можливості для ефективної обробки та аналізу великих обсягів екологічних даних. Це дозволяє використовувати штучний інтелект для моніторингу стану довкілля в реальному часі¹, забезпечуючи швидке реагування на зміни та загрози. О. Лозо обґрунтовує, що штучний інтелект надає унікальну можливість для більш точного прогнозування та запобігання екологічним ризикам, а його потенціал «допомагає оптимізувати контроль за природними ресурсами, запобігати природним катастрофам і сприяти зменшенню викидів» [15, с. 113]. Водночас, Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» передбачає створення державної системи моніторингу довкілля (далі – ДСМД), яка охоплює спостереження за станом та рівнем забруднення навколишнього середовища [5]. Наприклад, на підставі аналізу даних, отриманих від сенсорних мереж, вдається оперативно виявляти зміни в екосистемах, що сприяє своєчасному реагуванню на екологічні загрози [23, с. 264]. Доступність хмарних технологій дозволяє ефективно впровадити штучний інтелект у систему екологічного моніторингу, що відповідає вимогам ДСМД. Це має особливе значення в умовах євроінтеграції України, коли використання інноваційних технологій стає частиною стратегії розвитку екологічного сектора.

Крім того, розвиток технологій дронів і супутникових зображень високої роздільної здатності² робить можливим отримання більш точних даних про лісові масиви, що дає змогу оцінювати вплив кліматичних змін і воєнних дій на стан лісів України, що є важливою частиною п'ятнадцятої Цілі сталого розвитку [7].

Незважаючи на загальний розвиток технологій штучного інтелекту, їхнє застосування в лісовому господарстві та збереженні біорізноманіття залишається обмеженим. На сьогодні технології штучного інтелекту здебільшого впроваджуються в напрями, які мають критичне значення для суспільства, такі як громадська безпека, логістика та медицина [19]. У цих сферах штучний інтелект дозволяє значно скоротити витрати, підвищити продуктивність і раціонально використовувати ресурси, що забезпечує швидкі й помітні результати. Натомість екологічні питання, зокрема управління лісовими екосистемами, отримують менше уваги через їхню складність і необхідність тривалого часу для досягнення помітних змін.

Проте лісове господарство відіграє важливу роль у забезпеченні екологічної рівноваги та сталого розвитку. Ліси України виконують важливі екологічні, захисні та ресурсні функції, що є основою для підтримки біорізноманіття, водних ресурсів та здоров'я екосистем. У Лісовому кодексі України зазначено, що лісовий фонд включає

¹ За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, зазначених у Регіональній доповіді про стан навколишнього природного середовища за 2023 рік, наразі, у Києві функціонує 44 станції моніторингу забруднення атмосфери, серед яких 7 автоматичних пунктів спостереження, які надають дані в реальному часі через онлайн-мапу, та 46 індикативних датчиків у мобільному застосунку «Київ Цифровий», дані з яких збирає система SaveEcoBot.

² Восени 2022 року у співпраці з Міністерством оборони України була представлена національна військова платформа DELTA, яка забезпечує реальний огляд місцевості та обмін інформацією за стандартами НАТО, що з часом можна запровадити у контексті отримання більш точних даних про ліси.

всі ліси, незалежно від типу землі, на якій вони зростають, та форми власності, що підтверджує важливість їхнього збереження для сталого розвитку країни [1].

Значний природний потенціал українських лісів обумовлює їхню ключову роль у збереженні екологічної стабільності. Вони займають площу у 10,4 мільйона гектарів, з яких 9,6 мільйона гектарів вкрито лісовою рослинністю, що становить 15,9% території країни. За останні 50 років площа лісів зросла на 21%, що є позитивною динамікою для забезпечення екологічної стабільності. Значна частина лісів має заповідний статус (16,1%), що свідчить про важливість збереження природних екосистем у державній екологічній політиці України [21]. Однак, слід зазначити, що половина лісів країни є штучно створеними і потребує ретельного догляду для забезпечення їхньої життєздатності та стійкості до кліматичних змін.

Війна, розпочата Росією проти України, спричинила значні екологічні загрози, зокрема, суттєво вплинула на лісові масиви країни. З 24 лютого 2022 року, близько 30% лісів України зазнали пошкоджень різного ступеня [22]. Ліси стають місцем бойових дій, де активно переміщується військова техніка, розташовуються військові частини, що призводить до серйозного порушення лісових екосистем, забруднення ґрунтів і водних ресурсів. Ліси на деокупованих територіях особливо постраждали від військових дій, і повна оцінка цих втрат ускладнена через наявність вибухонебезпечних предметів, що створює загрозу для працівників.

Площа лісів, які були звільнені або де велися активні бойові дії, складає приблизно 1 мільйон гектарів. З цих територій близько 500 тисяч гектарів потребують розмінування. Водночас невідомим залишається рівень забруднення лісів вибухонебезпечними предметами на тимчасово окупованих територіях, що орієнтовно охоплюють ще 800 тисяч гектарів [22]. Оскільки заміновані ділянки розташовані на територіях лісового фонду, їх розмінування³ є критично важливим для забезпечення безпечного доступу до лісів.

Законом України № 2321-IX запроваджено суттєві зміни до Лісового та Земельного кодексів, а також інших законів, що регулюють охорону навколишнього середовища. Метою закону є спрощення процедур лісорозведення, захист самосійних лісів і природних територій. Нові механізми включають обов'язкову інвентаризацію та збереження природоохоронних ділянок, обмеження на зміну цільового призначення лісових земель, а також заборону на використання інвазійних видів дерев при лісорозведенні. Це важливий крок до покращення екологічної стійкості та сталого розвитку лісокористування в Україні [2].

Проте, навіть із впровадженням нових правових механізмів, в Україні, як і в багатьох інших країнах, інвентаризація лісів все ще базується на традиційних методах, що включають використання людського ресурсу та паперових носіїв для документування інформації [3]. На нашу думку, такі підходи є неефективними, оскільки вони спричиняють уповільнення збору даних, суб'єктивність оцінок та обмеженість у масштабуванні. Водночас, у Законі України № 2697-VIII передбачено поступове впровадження системи електронного врядування та автоматизованих інформаційних систем екологічних даних, що може сприяти подоланню цих недоліків і підвищенню ефективності моніторингу лісів у майбутньому [4].

Значна частина лісів України перебуває у державній власності, що становить приблизно 7,6 мільйона гектарів під управлінням Державного агентства лісових ресурсів

України [22]. Інші ділянки належать комунальним або приватним власникам, і саме Державне агентство координує управлінські заходи як у державних, так і в комунальних лісах. Відповідно до Державної стратегії управління лісами до 2035 року, агентство не лише контролює виконання лісогосподарських заходів, але й забезпечує юридичну та освітню підтримку комунальним лісокористувачам, що є важливим елементом у забезпеченні сталого розвитку лісового господарства [6]. У рамках цієї стратегії передбачено передачу малоефективних комунальних лісів у державну власність для забезпечення їх раціонального використання, за умови згоди місцевих органів самоврядування. Законодавство також обмежує передачу лісів із державної або комунальної власності до приватної, а нові ліси можуть з'являтися лише шляхом лісорозведення або визнання самосійних лісів як лісового фонду [1]. Тобто, це підкреслює важливість державного контролю та стратегічного планування для збереження й розвитку лісокористування в Україні.

В умовах воєнних дій і загострення екологічних проблем впровадження інновацій, зокрема штучного інтелекту, стає вкрай важливим для збереження природних ресурсів. Україна, обравши шлях до євроінтеграції, посилює розвиток екологічних інновацій у рамках зеленої економіки, адже, як зазначає О. Лозо, такі інновації сприяють «не лише збереженню природних ресурсів та охороні довкілля, але й підвищенню економічного добробуту країни та її конкурентоспроможності» [16, с. 84]. Таким чином, ми бачимо важливість інтеграції новітніх технологій у природоохоронну діяльність, що є необхідним кроком для сталого управління лісами.

Крім того, ШІ надає ефективні інструменти для моніторингу та управління лісами у зонах бойових дій. Поєднання супутникових знімків та даних, зібраних за допомогою дронів, дозволяє оцінювати масштаби руйнувань лісових масивів, визначати небезпечні ділянки замінування та виявляти незаконні дії, такі як вирубка дерев, навіть в умовах обмеженого доступу до територій. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу цих даних забезпечує точність та швидкість у прийнятті рішень, що необхідні для своєчасного втручання і зменшення негативного впливу на екосистему. Наприклад, дослідження показують, що ШІ здатний з високою точністю ідентифікувати зміну лісового покриву, а також прогнозувати можливі загрози, як-от пожежі, затоплення або інші природні катастрофи, пов'язані з воєнними діями. Це досягається шляхом обробки великих обсягів даних про погодні умови та історію лісових пожеж [11]. Інтеграція таких технологій у процес управління лісокористуванням дозволить також знизити ризики для диких тварин, що перебувають у зоні конфлікту. Тобто, завдяки використанню ШІ можливо відстежувати міграцію тварин, аналізувати загрози, пов'язані з бойовими діями чи мінуванням територій, та приймати своєчасні заходи для їхнього захисту.

Після закінчення бойових дій критично важливо буде оцінити ступінь пошкодження лісових територій та розробити ефективні плани їхнього відновлення. Штучний інтелект тут також буде відігравати важливу роль, забезпечуючи висадження нових рослин, аналіз стану лісових екосистем та складання точних карт зруйнованих територій, які потребують заліснення. Використання супутникових даних та алгоритмів глибокого навчання дозволить класифікувати типи рослинності, визначити пріоритетні ділянки для відновлення, а також автоматично ідентифікувати види, які збереглися чи потребують захисту [20]. Це дозволить оптимізувати процес відновлення лісів і створити умови для ефективного збереження біорізноманіття.

Окрім цього, контроль за реакцією лісів на зміни клімату, зокрема моніторинг змін у рості рослин та їх стійкості, також буде можливим завдяки використанню ШІ

³ Міністр цифрової трансформації Михайло Федоров нещодавно повідомив, що в Україні будуть впроваджувати штучний інтелект для розмінування за допомогою технології UADamage, яка включає стратегічне планування з використанням супутникових даних, візуальну перевірку за допомогою дронів та інспекцію підземних ділянок із сенсорами.

для аналізу екосистемних даних [11]. У довгостроковій перспективі це дозволить оптимізувати управління лісами, забезпечуючи сталий розвиток лісових масивів та екологічну рівновагу, що є особливо важливим у післявоєнний період.

Одним з прикладів інноваційного стартапу є американська некомерційна організація Outland Analytics, яка використовує ШІ для боротьби з незаконною вирубкою лісів. Компанія розробила пристрій, який кріпиться до дерева і за допомогою алгоритмів аудіорозпізнавання ідентифікує звуки бензопил або несанкціонованого транспорту. Система відправляє миттєві сповіщення лісовим рейнджерам через хмарну платформу, що дозволяє швидко реагувати на екологічні злочини [18]. Пристрій є низьковитратним і енергоефективним, оскільки працює на сонячних батареях і може автономно функціонувати кілька днів без підзарядки. Така технологія забезпечує моніторинг великих територій з мінімальними ресурсами, надаючи можливість оперативного втручання у випадку загрози. Завдяки використанню глибокого навчання та обчислювальної потужності, яку забезпечують NVIDIA GPU у хмарному сховищі IBM, система демонструє високий рівень точності і швидкості обробки даних, що є важливим для ефективної охорони лісів.

Ще одним прикладом може слугувати Південна Корея, яка активно використовує новітні технології для збереження своїх лісів. Південна Корея активно використовує сучасні технології для збереження своїх лісів, створюючи комплексні системи моніторингу та управління. Національна лісова служба країни впроваджує реальну систему управління лісами в режимі реального часу, а також платформу моніторингу лісових пожеж, побудовану на основі штучного інтелекту. Ця система базується на супутникових даних, які збираються спеціальними лісовими та сільськогосподарськими супутниками, забезпечуючи точний моніторинг стану лісів [12]. Ключовим елементом є створення цифрової карти лісів, що поєднує супутникову інформацію та картографічні дані для створення цифрового двійника лісових масивів країни. Це дозволяє швидко оцінювати стан лісів, прогнозувати цвітіння рослин і виявляти пошкодження від стихійних лих, таких як пожежі або зсуви ґрунту⁴. Платформа об'єднує дані з різних джерел, створюючи інтегровану систему, яка допомагає оперативно реагувати на загрози та евакуювати населення у разі небезпеки. Завдяки такому підходу, Корея буде «гіперзв'язану» систему управління природними ресурсами, яка допомагає ефективніше зберігати та відновлювати її екосистеми.

Не можна оминати поза увагою австралійську компанію AirSeed Technologies, яка застосовує дрони для швидкого відновлення лісових масивів у важкодоступних районах. Їхні дрони висаджують спеціально розроблені насінневі капсули, які містять поживні речовини і мікробні добавки, підібрані для конкретних видів рослин. Це значно підвищує успішність висаджування дерев і сприяє відновленню біорізноманіття. Завдяки таким дронам, які можуть посадити до 40 000 насінневих капсул на день, компанія забезпечує ефективне заліснення на великих територіях, навіть у віддалених чи небезпечних місцях. Технологія дозволяє точково GPS-позначати кожен висаджену капсулу, забезпечуючи максимальну ефективність моніторингу і догляду за висадженими ділянками [10].

Сектор лісового господарства в Україні зможе активно трансформуватися також завдяки сучасним технологіям збору та обробки даних. Використання передових рішень,

таких як Інтернет речей (IoT), безпілотні літальні апарати та алгоритми машинного навчання, дозволять значно покращити моніторинг стану лісів. Наприклад, компанія Dryad Networks з Німеччини створила мережу сенсорів на основі Інтернету речей, що дозволяють виявляти лісові пожежі на ранніх стадіях, забезпечуючи швидке реагування на виникнення небезпеки [14]. Використовуючи штучний інтелект, система Dryad збирає дані про зміни в умовах навколишнього середовища, що дозволяє надіслати тривожний сигнал ще до розповсюдження пожежі, надаючи можливість швидкого втручання служб.

Крім того, велика кількість даних, зібраних раніше у паперовому форматі, може бути оцифрована за допомогою технологій оптичного розпізнавання символів (OCR). Ця технологія дозволить перетворити текст з фізичних документів у цифровий формат, що спрощуватиме обробку і аналіз даних. Додатково, обробка природної мови (NLP) зможе використовуватися для аналізу текстових даних, забезпечуючи більш глибоке розуміння тенденцій та особливостей лісового господарства на основі історичної інформації. Отже, такі підходи підвищать ефективність управління лісочористуванням, зменшуючи людський фактор і можливі помилки, пов'язані з ручною обробкою даних.

На щорічній конференції Європейського інституту лісу, яка пройшла 17 вересня 2024 року, особливу увагу приділили використанню штучного інтелекту у лісових дослідженнях [13]. Програма включала сесію для молодих науковців, де розглядалися виклики та можливості впровадження ШІ у галузі лісового господарства. Наприклад, інтерактивна сесія розпочалася з виступу Габрієла Коломбо з Політехнічного університету Мілана, який представив результати хакатону, де учасники тестували генеративні моделі ШІ⁵, такі як DALL-E 3, MidJourney та DeepAI.

Розглядаючи питання запровадження алгоритмів штучного інтелекту як інструменту моніторингу лісів, ми надаємо пріоритет правому забезпеченню їх застосування. Згідно зі статтею 56 «Угоди про асоціацію» між Україною та Європейським Союзом, Україна зобов'язана дотримуватися європейських стандартів [8]. Це зобов'язання стає особливо актуальним, оскільки Україна є кандидатом на вступ до ЄС, що потребує узгодження національного законодавства та технологічних рішень із нормами та вимогами Європейського Союзу.

Незважаючи на те, що на національному рівні питання використання штучного інтелекту в Україні ще не врегульовано⁶, важливо зазначити, що в травні 2024 року Рада Європи прийняла перший у світі міжнародний юридично обов'язковий договір, спрямований на забезпечення дотримання прав людини, принципів верховенства права та демократичних стандартів при використанні систем ШІ. Закон Європи про ШІ не обмежує застосування таких технологій, але встановлює чіткі вимоги щодо відповідності високим стандартам прозорості, технічної надійності та безпеки [9]. Це включає обов'язкову умову забезпечення людського контролю під час прийняття рішень та моніторингу впливу штучного інтелекту на навколишнє середовище.

Європейський Союз також активно працює над створенням сучасної системи моніторингу лісів, яка забез-

⁵ Наприклад, моделі отримували підказки такі як «Осінній ліс у Карпатах» або «Тропічний заповідник у Південно-Східній Азії», аналізуючи, як штучний інтелект інтерпретує різні аспекти цих лісових пейзажів. Учасники спостерігали, які елементи природи акцентують моделі, і як це відображає культурні уявлення та стереотипи, пов'язані з лісами у різних регіонах світу. Такий підхід дозволив вивчити, як штучний інтелект репрезентує природні середовища.

⁶ Восени 2023 року Міністерство цифрової трансформації України презентувало Дорожню карту з регулювання штучного інтелекту, яка має на меті підготовку українських компаній до впровадження законодавства, аналогічного Акту ЄС про ШІ. Вже у червні 2024 року було представлено Білу книгу, що містить детальні рекомендації щодо розробки безпечних технологій ШІ та захисту громадян від можливих ризиків.

печуватиме їхню стійкість перед природними та антропогенними викликами. Для цього Європейська Комісія ініціювала запровадження регламенту для моніторингу стійких лісів у Європі, який спрямований на створення єдиної бази знань, що дасть змогу країнам-членам ЄС швидко реагувати на загрози та підтримувати стабільність екосистем [17]. Регламент передбачає застосування інноваційних технологій, зокрема штучного інтелекту, з метою отримання достовірних і своєчасних даних для розробки та реалізації політики, включно з моніторингом природних катастроф та руйнівних процесів у лісах. Водночас Лісова інформаційна система Європи (FISE), яка об'єднує дані з національних і міжнародних джерел, а також із програми спостереження Землі Copernicus, впроваджує штучний інтелект у алгоритми для забезпечення повного та актуального доступу до інформації про стан лісів ЄС.

Впровадження технологій ШІ в лісовому господарстві супроводжується низкою викликів. Вони охоплюють різні аспекти, від браку поінформованості до етичних питань, а також технічних і економічних труднощів, що ускладнюють масштабне впровадження інноваційних рішень.

Першим викликом є недостатня поінформованість серед лісівників, представників органів влади, громадських організацій та екологічних активістів. Часто ці зацікавлені сторони не розуміють переваг або доступності нових технологій через їх складність. Це призводить до недостатнього інтересу або, навпаки, до створення нереалістичних очікувань від застосування технологій ШІ. Для ефективного впровадження необхідно підвищувати кваліфікацію фахівців і надавати тематичні дослідження або демонстраційні проекти, які допомагають формувати реалістичні уявлення про можливості ШІ.

Інший важливий аспект – військові дії на території України, тому що через них значна кількість молодих фахівців та студентів, які могли б зацікавитися розробкою та впровадженням ШІ, вимушені покидати країну. Це призводить до втрати кваліфікованих кадрів, здатних працювати з новими технологіями і контролювати їхнє впровадження. Крім того, екологічні питання під час війни та в післявоєнний період часто відходять на другий план, оскільки увага молоді спрямована на першочергові питання безпеки, виживання та відновлення економіки. Водночас, саме молодь є тією групою, яка має найбільшу гнучкість у сприйнятті нових технологій і може ефективно адаптуватися до нових викликів.

Гнучкість та адаптабельність ринку у цьому напрямі також залишається обмеженою через те, що переважно розвитком технологій займаються невеликі стартапи. Відсутність стабільного ринку та інвестиційних можливостей значно стримує їхній розвиток у промислових масштабах, обмежуючи доступ до фінансування, необхідного для масштабного впровадження. Крім того, конкуренція між численними невеликими компаніями призводить до розпорощення ресурсів, що уповільнює прогрес. Недостатньо розроблені додатки для ШІ ускладнюють його інтеграцію в реальні проекти, що знижує ефективність та вплив цих технологій у лісовому секторі.

Нарешті, головною перешкодою є невизначеність, пов'язана з точністю та надійністю прогнозів моделей ШІ. Ефективність таких систем часто залежить від наявності великої кількості якісних даних і досвіду фахівців, яких може не вистачати. Це особливо актуально для лісових

екосистем, де немає єдиної бази даних, що охоплює всі типи територій, види лісів та рослинності. Для досягнення високої точності моделей необхідно мати значну кількість ретельно позначених даних та залучати кваліфікованих експертів. Проте такі ресурси можуть бути недоступними, особливо у випадках замінованих територій, де проведення польових досліджень та аналіз території значно ускладнюється. У таких умовах неможливо безпечно збирати дані через ризик вибуху, що створює серйозні перешкоди для моніторингу та оцінки стану лісів. Це вимагає впровадження нових підходів та використання дистанційних методів аналізу.

Висновки і пропозиції. Підсумовуючи, зазначимо, що впровадження штучного інтелекту в систему моніторингу лісів в Україні має значний потенціал для поліпшення лісокористування в умовах екологічних викликів та необхідності відновлення країни після війни. Однак для реалізації цього потенціалу потрібно вдосконалення нормативно-правової бази, щоб гарантувати прозорість процесів, надійність технічних рішень та відповідність екологічним стандартам, які узгоджені з вимогами євроінтеграції. Вважаємо, що створення дієвої законодавчої бази стане важливим етапом на шляху до впровадження інновацій у лісове господарство та забезпечення його сталого розвитку.

Доведено доцільність прийняття комплексного Закону України «Про екологічний моніторинг», в якому буде врегульовано систему моніторингу довкілля, зокрема, у сфері лісового господарства. На даний момент регулювання цієї сфери здійснюється на основі Постанови Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. № 391 «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля», що не повною мірою відповідає потребам контролю та оцінки лісових екосистем. Запропонований до прийняття закон сприятиме створенню єдиної системи даних про стан природних ресурсів, дозволяючи здійснювати аналіз наслідків шкоди, завданої екосистемам унаслідок воєнних дій, антропогенного впливу чи природних катастроф. Отже, він дозволить встановити механізми обчислення екологічних втрат та оцінки впливу, зокрема, лісових екосистем, на економічний розвиток країни.

Маємо констатувати, що зараз доцільно внести зміни до Стратегії управління лісами до 2035 року, схваленої Кабінетом Міністрів України, з метою передбачення використання сучасних технологій у сфері лісового господарства. Впровадження інноваційних рішень, зокрема, штучного інтелекту, сприятиме не лише вдосконаленню системи спостереження за довкіллям, але й забезпечить детальне опрацювання інформації, що підвищить точність та швидкість оцінки стану екосистем. У цьому контексті важливо відзначити роль Геопорталу «Ліси України», який вже забезпечує доступ до геопросторової інформації про ведення лісового господарства. Однак, для досягнення сучасних стандартів управління екосистемами, необхідно вдосконалити його функціонал. Зокрема, розширення бази даних, впровадження технологій спостереження та передачі інформації з датчиків у режимі реального часу, а також інтеграція штучного інтелекту для безперервного аналізу та прогнозування стану лісових екосистем дозволять значно підвищити ефективність моніторингу, оперативно реагувати на екологічні виклики та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лісовий кодекс України : Кодекс України від 21.01.1994 № 3852-XII : станом на 4 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text> (дата звернення: 19.10.2024).
2. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо збереження лісів : Закон України від 20.06.2022 № 2321-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2321-20#Text> (дата звернення: 19.10.2024).
3. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова Каб. Міністрів України від 30.03.1998 № 391 : станом на 26 верес. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-#Text> (дата звернення: 19.10.2024).

4. Про затвердження Порядку проведення національної інвентаризації лісів та внесення зміни у додаток до Положення про набори даних, які підлягають оприлюдненню у формі відкритих даних : Постанова Каб. Міністрів України від 21.04.2021 № 392 : станом на 28 квіт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392-2021-p#Text> (дата звернення: 19.10.2024).
5. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 № 2697 VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 19.10.2024).
6. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII : станом на 29 черв. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 19.10.2024).
7. Про схвалення Державної стратегії управління лісами України до 2035 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.12.2021 № 1777-р : станом на 22 верес. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-2021-p#Text> (дата звернення: 19.10.2024).
8. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 19.10.2024).
9. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони : Угода Україна від 27.06.2014 : станом на 30 листоп. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 19.10.2024).
10. The AI Act : Act of 01.08.2024 no. Regulation (EU) 2024/1689. URL: <https://artificialintelligenceact.eu/the-act/> (date of access: 19.10.2024).
11. AirSeed – From Australia to Africa, using seed-firing drones: the case study of AirSeed Technologies. *AirSeed*. URL: <https://airseedtech.com/from-australia-to-africa-using-seed-firing-drones-the-case-study-of-airseed-technologies/> (date of access: 19.10.2024).
12. Cui Z. Li X. Li T. Li M. Improvement and assessment of convolutional neural network for tree species identification based on bark characteristics. *Forests*. 2023. Vol. 14, no. 1292. P. 19. URL: <https://doi.org/10.3390/f14071292> (date of access: 19.10.2024).
13. Dobberstein L. South Korea to manage forests with AI, satellites. *The Register: Enterprise Technology News and Analysis*. URL: https://www.theregister.com/2024/03/14/korea_digitize_forest/ (date of access: 19.10.2024).
14. Exploring the world of AI | european forest institute. *European Forest Institute*. URL: <https://efi.int/news/exploring-world-ai-2024-09-24> (date of access: 19.10.2024).
15. Jones B. The digital forest: is sensor technology the way forward? – international association of wildland fire. *International Association of Wildland Fire*. URL: <https://www.iawfonline.org/article/the-digital-forest-is-sensor-technology-the-way-forward/> (date of access: 19.10.2024).
16. Lozo O., Onishchenko O. The potential role of the artificial intelligence in combating climate change and natural resources management: political, legal and ethical challenges. *Grassroots journal of natural resources*. 2021. Vol. 4, no. 3. P. 111–131. URL: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040310> (date of access: 19.10.2024).
17. Lozo O.V., Trubchaninova A.S. Ecological innovations in the green economy system (legal aspect). *Environmental law*. 2022. No. 3–4. P. 80–85. URL: <https://doi.org/10.37687/2413-7189.2022.3-4-4.16> (date of access: 19.10.2024).
18. Proposal for a regulation on a forest monitoring framework. *An official website of the European Union*. URL: https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-regulation-forest-monitoring-framework_en (date of access: 19.10.2024).
19. Salian I. How AI can protect the world's woods from deforestation. *NVIDIA Blog*. URL: <https://blogs.nvidia.com/blog/ai-illegal-logging-deforestation/> (date of access: 19.10.2024).
20. Silvestro D. et al. Improving biodiversity protection through artificial intelligence. *Nature sustainability*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00851-6> (date of access: 19.10.2024).
21. Smith R. AI's role in the future of forest conservation. *Network of Nature*. URL: <https://networkofnature.org/blog/ai-s-role-in-the-future-of-forest-conservation.htm> (date of access: 19.10.2024).
22. Державне агентство лісових ресурсів України. Загальна характеристика лісів України. *gov.ua | Державні сайти України*. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> (дата звернення: 19.10.2024).
23. Публічний звіт голови державного агентства лісових ресурсів України за 2023 рік. 2024. 47 с. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2023/zvit_lis_%202023.pdf (дата звернення: 19.10.2024).
24. Радовенчик В., Іваненко О., Крисенко Т., Глушко О. Розвиток системи моніторингу якості повітря в м. Києві. *Екологія. Людина. Суспільство* : матеріали ХХІV Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 5 черв. 2024 р. Київ, 2024. С. 264–265.
25. Савчук О.О. Правові проблеми розвитку інноваційної інфраструктури лісопромислового комплексу України. *Право та інновації*. 2021. С. 51–57.
26. Шевченко А.І. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: монографія. Київ : ІПШІ, 2023. 305 с.