

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ПРИРОДНИМ КАПІТАЛОМ

Сучасні виклики глобального розвитку – зростання населення, індустріалізація, урбанізація та поглиблення екологічних криз – актуалізують необхідність пошуку нових підходів до природокористування. Традиційні методи управління природними ресурсами виявляються недостатньо ефективними для реагування на складні екологічні виклики сучасності. Штучний інтелект (ШІ) виступає інноваційним інструментом для переходу до сталої моделі природокористування, забезпечуючи інтелектуалізацію управління, інтеграцію великих даних, підвищення точності прогнозування й ефективності прийняття управлінських рішень. У статті проаналізовано можливості застосування ШІ в управлінні природним капіталом України, зокрема у сфері сільського та лісового господарства, водних ресурсів, охорони біорізноманіття та запобігання екологічним кризам. Обґрунтовано роль штучного інтелекту як каталізатора зеленої трансформації та формування адаптивних стратегій сталого розвитку.

Ключові слова: штучний інтелект; комунікації; природний капітал; зелена трансформація; управління ресурсами; експертиза проєктів.

Постановка проблеми. Сучасна модель природокористування формується в умовах глибокої екологічної, економічної та технологічної трансформації. Зростання населення, інтенсивна урбанізація, деградація ґрунтів, дефіцит водних ресурсів і втрата біорізноманіття створюють системний тиск на природний капітал. Паралельно, наслідки зміни клімату, зокрема збільшення частоти екстремальних погодних явищ, призводять до зниження продуктивності агроландшафтів, порушення екосистемних рівноваг та зростання екологічних ризиків.

Традиційна парадигма управління природними ресурсами – заснована на реактивних підходах, що передбачають втручання після настання проблеми – виявилася неефективною в умовах динамічних

екологічних змін. Вона характеризується фрагментарністю екологічних даних, відсутністю інтегрованих інформаційних систем і низькою швидкістю обробки даних. Це ускладнює можливість побудови системи прогностного управління природним капіталом на основі точних, своєчасних та об'єктивних даних.

Водночас сучасний етап розвитку науки й техніки позначений формуванням нової техносфери, де ШІ, машинне навчання, великі дані (Big Data), геоінформаційні системи (ГІС), супутниковий моніторинг і Інтернет речей (IoT) створюють основу для інтелектуального природокористування. Ці технології здатні не лише забезпечити автоматизацію збору даних, а й сформувані аналітичні моделі прогнозування деградаційних процесів, кліматичних змін та ефективності відновлення природного середовища.

Для України ця проблематика набуває подвійного значення. По-перше, екологічні системи країни зазнали значного навантаження внаслідок воєнних дій – забруднення земель, руйнування гідроспоруд, втрати лісових екосистем. По-друге, відновлення країни потребує впровадження моделей «зеленого зростання» у відповідності до принципів Європейського зеленого курсу та Зеленої хартії ЄС. Це передбачає перехід від експлуатаційного до екосистемно-орієнтованого управління, у якому ключову роль відіграють інтелектуальні технології, що дозволяють оцінювати, прогнозувати й оптимізувати стан природних систем.

Основна наукова проблема полягає у відсутності системного підходу до інтеграції ШІ у сферу управління природним капіталом України. Наявні ініціативи переважно мають локальний характер і не забезпечують міжгалузевої взаємодії даних, що обмежує можливість побудови єдиної системи цифрового екологічного моніторингу. Також бракує нормативно-правових, етичних і технічних стандартів використання ШІ у сфері сталого розвитку, що стримує його широке впровадження в державну екологічну політику.

Отже, необхідність переходу до моделі інтелектуального природокористування – це не лише технологічне, а й стратегічне завдання, що поєднує цілі сталого розвитку, відновлення після війни та цифрової трансформації екологічного управління. Використання потенціалу штучного інтелекту стає ключовим чинником для забезпечення екологічної безпеки, підвищення ефективності управління ресурсами та реалізації зеленої трансформації України в європейському контексті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасній науковій літературі за останні роки зростає кількість робіт, які підтверджують ефективність використання ШІ у природокористуванні, як в національному, так і міжнародному контексті. Наприклад, Lebid, Kirogenko та Vovk (2023) виявили, що алгоритми машинного навчання застосовуються в сільському господарстві для захисту рослин, класифікації бур'янів, моніторингу води й ґрунту, прогнозування погоди та поведінки тварин в агросистемах [1]. Pavlo Lykhovyd і колеги (2024) провели огляд методів глибинного навчання для фітосанітарного моніторингу в Україні, підкресливши, що такі технології здатні значно підвищити точність виявлення хвороб, шкідників і стресових станів рослин [2]. У сфері управління водними ресурсами, огляд ScienceDirect (2024) показує, що поєднання ШІ та ГІС дозволяє моделювати потенціал підземних вод, прогнозувати повені, оцінювати стік та сезонні зміни – завдяки використанню методів, таких як Random Forest, LSTM та інші [3]. Nawaz (2025) провів різноманітні дослідження щодо моніторингу культур, зоотехнії та рибництва, вказуючи на проблеми, пов'язані з варіабельністю даних, деформацією моделей та їх адаптацією до різних умов [4]. Sapitang M з колегами аналізують сучасні методи прогнозування та управління водними ресурсами, показуючи, що глибинне навчання перевершує традиційні підходи у точності й швидкості [5]. Попри численні дослідження науковий напрямок має ряд суттєвих недоліків, зокрема, фрагментованість даних, енергоспоживання моделей, питання адаптації моделей до локальних умов та потреба в етичних і нормативних стандартах, що потребують подальшого розгляду.

Метою статті є обґрунтування ролі штучного інтелекту у формуванні інтелектуального природокористування як ключового елементу зеленої трансформації України. Для досягнення цієї мети передбачено виконання наступних завдань: виявити основні тенденції інтеграції технологій штучного інтелекту в управління природними ресурсами; проаналізувати сучасні наукові підходи та практичні кейси застосування ШІ у сільському, лісовому та водному господарстві; оцінити потенціал інтелектуальних систем у підвищенні ефективності екологічної політики та зменшенні антропогенного навантаження на довкілля; визначити основні бар'єри, виклики й можливості розроблення національної моделі інтелектуального природокористування, що відповідатиме пріоритетам Європейського зеленого курсу.

Виклад основного матеріалу. Сучасні виклики глобального розвитку актуалізують необхідність пошуку нових підходів до природокористування. Традиційні методи управління природними ресурсами часто виявляються недостатньо ефективними через обмеженість у зборі, обробці та інтерпретації великих масивів даних. У цьому контексті штучний інтелект виступає інноваційним інструментом, здатним забезпечити перехід від експлуатаційної до сталої моделі природокористування.

Його ключова перевага полягає в інтелектуалізації процесів управління. Алгоритми машинного та глибокого навчання дають можливість комплексно аналізувати багатовимірні екологічні й економічні дані, виявляти приховані закономірності та будувати прогностичні моделі. Це створює підґрунтя для підвищення точності управлінських рішень, що враховують не лише економічний, а й екологічний ефект, мінімізації екологічних ризиків шляхом прогнозування наслідків використання природних ресурсів та формування адаптивних стратегій для регіонів і галузей у відповідь на зміни клімату та зростання антропогенного тиску.

Інноваційність штучного інтелекту також проявляється у його здатності інтегруватися з іншими цифровими технологіями. Зокрема, Інтернет речей (IoT) забезпечує збір даних із сенсорів, які відстежують стан ґрунтів, водних ресурсів та повітря; блокчейн підвищує прозорість у сфері природокористування, наприклад, у відстеженні ланцюгів постачання природних ресурсів чи контролі за викидами; ГІС у поєднанні з інтелектуальними алгоритмами створюють нові можливості для просторового планування та екологічного моніторингу [6].

Завдяки алгоритмам самонавчання системи штучного інтелекту здатні постійно вдосконалюватися, використовуючи нові дані. Це дозволяє коригувати моделі прогнозування в реальному часі, швидко реагувати на непередбачувані зміни природного середовища та оптимізувати управління ресурсами з урахуванням локальних особливостей. Така адаптивність робить ШІ незамінним інструментом у сферах, де природні процеси є динамічними й нестабільними.

У контексті зеленої трансформації економіки ШІ відкриває додаткові можливості. Зокрема, у енергетиці інтелектуальні системи управління («smart grids») дозволяють збалансувати навантаження в енергомережах, оптимізувати роботу сонячних і вітрових електростанцій, прогнозувати рівень споживання та зменшувати втрати енергії. В екологічній політиці та управлінні ШІ застосовується

390

для сценарного моделювання, оцінки екологічних ризиків та підвищення обґрунтованості управлінських рішень.

Одним із найважливіших напрямів застосування ШІ є прогнозування стану природних ресурсів. Моделі машинного навчання дозволяють прогнозувати рівень води у річках та водосховищах із урахуванням історичних даних і погодних умов, оцінювати динаміку росту лісів та зміну чисельності флори і фауни, прогнозувати врожайність та стан ґрунтів, що забезпечує оптимізацію використання агропромислових ресурсів без шкоди для довкілля. Прогнозні моделі сприяють не лише ефективному управлінню, а й зменшенню ризиків виснаження ресурсів, забезпечуючи стійкість екосистем і раціональне природокористування (таблиця).

Таблиця

Сфери застосування ШІ в управлінні природним капіталом

Сфера застосування	Приклади використання ШІ	Очікувані результати
Моніторинг довкілля	Аналіз супутникових знімків, дрони з системами комп'ютерного зору, сенсорні мережі	Виявлення незаконних вирубок, прогнозування пожеж та повеней, контроль забруднень
Раціональне використання ресурсів	Smart farming, алгоритми оптимізації зрошення, управління видобутком	Зменшення споживання води й добрив, збереження родючості ґрунтів, мінімізація екологічного впливу
Охорона біорізноманіття	Розпізнавання видів за фото/звуками, «розумні пастки», моделювання популяцій	Контроль браконьєрства, захист рідкісних видів, моніторинг міграцій
Кліматичні дослідження	Машинне навчання для аналізу кліматичних даних, прогнозні моделі	Підвищення точності прогнозів змін клімату, розробка адаптаційних стратегій

продовження таблиці

Зелена енергетика	Smart grids, оптимізація роботи сонячних і вітрових станцій	Зниження втрат енергії, зростання частки відновлюваних джерел у балансі
Екологічна політика та управління	Системи підтримки прийняття рішень, сценарне моделювання	Оцінка екологічних ризиків, підвищення обґрунтованості управлінських рішень

ШІ може бути інтегрований у державні та корпоративні системи управління природокористуванням, що дозволяє автоматично формувати рекомендації щодо раціонального використання ресурсів, оцінювати наслідки різних сценаріїв господарської діяльності та забезпечувати прозорість контролю за станом природних ресурсів. Такі системи створюють основу для переходу до інтелектуального природокористування, де рішення ґрунтуються на даних та алгоритмічній оцінці ризиків, що особливо актуально для України, яка потерпає від значних екологічних втрат через військовий конфлікт та антропогенний тиск [7].

Україна традиційно посідає провідні позиції у виробництві сільськогосподарської продукції в Європі. Проте з початком війни в 2022 році аграрний сектор зазнав значних втрат: було знищено понад 60 000 га сільськогосподарських угідь, а також пошкоджено інфраструктуру та техніку. Незважаючи на ці виклики, впровадження технологій точного землеробства дозволило частково компенсувати втрати та підвищити ефективність виробництва [8; 9].

Технології точного землеробства, що передбачають використання дронів, супутникових знімків та сенсорних мереж, дозволяють прогнозувати врожайність шляхом аналізу даних про стан ґрунтів, погодні умови та попередні врожаї, оптимізувати використання ресурсів, визначаючи точні дози добрив, води та засобів захисту рослин, та виявляти шкідників і хвороби на ранніх стадіях за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору.

Завдяки впровадженню ШІ в аграрний сектор України у 2023 році врожайність пшениці зросла на 10–12% порівняно з попереднім роком, витрати на добрива та засоби захисту рослин зменшилися на 15–20%, а аграрії отримали можливість краще адаптуватися до змін клімату та екстремальних погодних умов.

Лісове господарство України також зазнало значних втрат, адже у період 2022–2023 років було знищено майже 1600 км² лісів, що становить близько 15% загальної площі, із найбільшими втратами в Донецькій, Харківській, Херсонській, Київській та Луганській областях. Водночас застосування штучного інтелекту в лісовому господарстві забезпечує ефективний моніторинг стану лісів, виявлення незаконних вирубок, пожеж та інших порушень, прогнозування розвитку лісових екосистем шляхом аналізу кліматичних умов, складу ґрунтів та біорізноманіття, а також оптимізацію лісокористування, включно з плануванням рубок і відновленням лісів. Впровадження ШІ дозволило зменшити незаконні вирубки на 25–30%, скоротити час відновлення лісів на 20–25% і оптимізувати використання лісових ресурсів [9].

Перспективи розвитку застосування ШІ в сільському та лісовому господарстві України включають підвищення ефективності виробництва на всіх етапах, від планування до збору врожаю та переробки, забезпечення сталого розвитку та раціонального використання природних ресурсів, адаптацію до змін клімату і залучення інвестицій завдяки інноваційним технологіям. Для повного реалізації потенціалу ШІ необхідно розвивати цифрову інфраструктуру, зокрема забезпечити доступ до інтернету в сільських і віддалених районах, проводити навчання та підвищення кваліфікації кадрів аграрного та лісового секторів у галузі ШІ, а також створювати сприятливе нормативне та політичне середовище для впровадження технологій. Лише за таких умов можна забезпечити ефективний і сталий розвиток аграрного та лісового секторів України в умовах сучасних викликів.

Стійке використання водних ресурсів є також однією з ключових складових забезпечення продовольчої безпеки, охорони довкілля та адаптації до змін клімату. В Україні водні ресурси включають річки, озера, підземні води та водосховища, які зазнають впливу антропогенних чинників, таких як інтенсивне землекористування, промислове забруднення та кліматичні зміни. За даними Державної служби статистики України, у 2023 році загальний обсяг використання прісної води становив приблизно 12,4 км³, при цьому близько 60% води використовувалося у промисловості та енергетиці, а решта – для потреб сільського господарства та населення [10].

Сучасні виклики водокористування включають нерівномірний розподіл води, сезонні коливання та часті надзвичайні явища, як-от

посухи та повені. Використання традиційних методів управління водними ресурсами часто виявляється недостатньо ефективним для запобігання виснаженню водних систем і деградації екосистем. У цьому контексті ключовим інструментом для забезпечення стійкості є інтеграція цифрових технологій, зокрема штучного інтелекту та систем дистанційного моніторингу.

Штучний інтелект дозволяє збирати та аналізувати великі обсяги даних про стан водних ресурсів у реальному часі, прогнозувати рівні води в річках і водосховищах, а також оцінювати вплив антропогенних та природних факторів на водні екосистеми. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть передбачати ризики посух та повеней, оптимізувати розподіл води для зрошення сільськогосподарських угідь та визначати оптимальні стратегії відновлення водних екосистем.

Стійке управління водними ресурсами передбачає комплексний підхід, який включає не лише технологічні рішення, але й нормативно-правове регулювання, громадську участь і економічні механізми стимулювання ефективного використання води. За даними ООН, приблизно 70% прісної води у світі споживається в аграрному секторі, тому застосування прецизійного землеробства, систем зрошення з низьким споживанням води та відновлення водно-болотних угідь є критично важливим для збереження водних ресурсів.

В Україні реалізація принципів сталого водокористування включає розробку інтегрованих систем управління басейнами річок, застосування сенсорних мереж для моніторингу якості води, а також впровадження систем прогнозування попиту та ризиків надзвичайних ситуацій. Ефективне використання цих підходів дозволяє зменшити втрати води, підвищити стійкість водних екосистем та забезпечити довгострокову доступність води для економіки та населення.

Стійке використання водних ресурсів є комплексним завданням, що поєднує технологічні інновації, управлінські підходи та екологічні принципи. Інтеграція штучного інтелекту та цифрових систем моніторингу забезпечує новий рівень точності та ефективності у водокористуванні, що сприяє сталому розвитку аграрного та промислового секторів, охороні довкілля та підвищенню адаптивності до змін клімату.

Біорізноманіття є фундаментальною основою екосистем, забезпечуючи стійкість природних процесів, регуляцію клімату, якість

394

ґрунтів та водних ресурсів, а також підтримку продовольчої безпеки. В Україні, яка належить до помірно-континентального кліматичного поясу, налічується понад 90 000 видів флори і фауни, серед яких близько 30% перебувають під загрозою зникнення через антропогенний вплив та зміну клімату. Основними чинниками втрати біорізноманіття є інтенсивне землекористування, урбанізація, деградація природних середовищ існування, незаконна вирубка лісів, забруднення водойм та вплив кліматичних змін.

Охорона природи передбачає комплекс заходів, спрямованих на збереження екологічних систем та видового різноманіття. В Україні реалізація природоохоронних заходів здійснюється через створення природоохоронних територій, таких як національні парки, заповідники, біосферні резервати та регіональні ландшафтні парки. Станом на 2023 рік, площа охоронюваних територій становила понад 7% від загальної території країни, що відповідає рекомендаціям Конвенції про біорізноманіття ООН, але потребує подальшого розширення та інтеграції у національні плани розвитку [11].

Сучасні підходи до охорони біорізноманіття активно інтегрують цифрові технології, зокрема ШІ, дистанційне зондування та сенсорні мережі. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє здійснювати моніторинг стану популяцій рідкісних та ендемічних видів, прогнозувати ризики зникнення, виявляти незаконні рубки та браконьєрство, а також оцінювати ефективність природоохоронних заходів. Наприклад, супутникові знімки та алгоритми комп'ютерного зору застосовуються для відстеження змін у лісових екосистемах і водно-болотних угіддях, що дозволяє швидко реагувати на екологічні загрози.

Розглянемо більш детально глобальні платформи, що використовують для моніторингу природного капіталу.

Global Forest Watch (GFW) – це глобальна платформа для моніторингу лісів, яка поєднує сучасні технології дистанційного зондування, машинного навчання та великі дані для оцінки стану лісових екосистем у реальному часі. Основною метою платформи є своєчасне виявлення змін лісового покриву, незаконної вирубки, деградації лісів та загроз для біорізноманіття, що дозволяє приймати оперативні управлінські рішення на національному та міжнародному рівнях. Система також сприяє оцінці вуглецевого балансу лісів і плануванню заходів зі збереження та відновлення лісових ресурсів, що є критично важливим для протидії змінам клімату та підтримки

сталого розвитку [8].

Інтеграція штучного інтелекту у систему GFW дозволяє автоматизувати обробку величезних обсягів супутникових даних, знизити людський фактор у моніторингу та класифікації лісових змін, підвищити точність оцінки стану лісів та прогнозування ризиків. Таким чином, GFW є яскравим прикладом того, як сучасні технології ШІ можуть підтримувати збереження природного капіталу, підвищувати ефективність управління.

Широкого поширення здобула система AquaCrop-DS (FAO), яка розроблена Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН (FAO), є системою для інтелектуального управління водними ресурсами у сільському господарстві. Основна мета AquaCrop-DS полягає в оптимізації поливу, підвищенні ефективності використання води та забезпеченні стабільної врожайності культур у різних кліматичних і ґрунтових умовах. Система дозволяє адаптувати агротехнічні рішення до конкретних умов поля, прогнозувати потребу у воді, зменшувати ризики посух і підтримувати стійкість агроєкосистем [8].

Завдяки впровадженню AquaCrop-DS досягається значне підвищення ефективності використання води, зменшення її витрат на 20–40% при збереженні або підвищенні врожайності культур. Це сприяє зменшенню деградації ґрунтів, підвищенню екологічної стійкості агроєкосистем і забезпеченню сталого управління природним капіталом. Крім того, система дозволяє проводити аналіз ризиків, пов'язаних із нестачею або надлишком води, що важливо для довгострокового планування та управління водними ресурсами на рівні господарств і регіонів [8].

В сучасному світі широкого поширення здобув цифровий інструмент Wildlife Insights – це глобальна платформа для моніторингу диких тварин, розроблена для підтримки охорони біорізноманіття та управління природними територіями. Основна мета системи полягає у зборі, аналізі та інтерпретації даних про популяції диких видів, що дозволяє оцінювати стан екосистем, виявляти рідкісні або зникаючі види та планувати заходи з охорони природи. Платформа інтегрує сучасні технології штучного інтелекту, комп'ютерного зору та обробки великих даних для автоматизації процесів збору та аналізу інформації.

Завдяки застосуванню Wildlife Insights досягаються значні переваги у сфері охорони природи. Автоматизація збору та обробки даних забезпечує високу точність обліку видів і чисельності

396

популяцій, зменшує вплив людського фактора та дозволяє отримувати дані у режимі реального часу. Система підтримує прийняття науково обґрунтованих рішень щодо створення охоронних територій, планування заходів збереження рідкісних видів та оцінки ефективності вже впроваджених програм. Крім того, платформа сприяє підвищенню прозорості та обміну даними між науковими організаціями, урядами та міжнародними екологічними ініціативами.

Прогнозування та запобігання екологічним кризам є критично важливими для забезпечення сталого розвитку та збереження природних ресурсів в Україні. Екологічні кризи, такі як повені, посухи, лісові пожежі, забруднення води та ґрунтів, втрату біорізноманіття та деградацію лісових і водних екосистем, можуть мати серйозні наслідки для екосистем, економіки та здоров'я населення. В Україні ці загрози стали особливо актуальними через поєднання кліматичних змін, інтенсивного землекористування та антропогенного навантаження на довкілля. За даними Державної служби України з питань надзвичайних ситуацій, у 2023 році зафіксовано понад 450 випадків надзвичайних екологічних подій, включаючи повені, лісові пожежі та забруднення водних ресурсів, що спричинили значні економічні та соціальні втрати [12].

Прогнозування екологічних криз базується на використанні сучасних технологій, таких як дистанційне зондування, супутникові знімки, сенсорні мережі та моделі машинного навчання. Ці інструменти дозволяють здійснювати постійний моніторинг стану довкілля, виявляти потенційні загрози та розробляти стратегії їх запобігання. Супутникові знімки дають змогу відстежувати зміни в лісових масивах, водно-болотних угіддях та сільськогосподарських угіддях, виявляти шкідників, хвороби рослин і ранні ознаки деградації екосистем. Сенсорні мережі забезпечують реальний моніторинг якості повітря, води та ґрунтів, що дозволяє оперативно реагувати на забруднення та інші екологічні загрози. Алгоритми машинного навчання аналізують великі масиви даних, визначають закономірності та прогнозують ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій, таких як повені, посухи чи пожежі, що дозволяє своєчасно розробляти превентивні заходи.

В умовах війни значним викликом є забруднення територій вибухонебезпечними предметами, і тут ШІ разом із дронами використовується для картографування мін та забезпечення безпеки цивільного населення, що дозволяє значно прискорити демінерацію.

Запобігання екологічним кризам передбачає комплексний підхід, що включає технологічні, управлінські та природоохоронні заходи. До технологічних підходів відносяться системи дистанційного моніторингу, дрони для оцінки стану лісів і земель, сенсорні мережі для контролю якості води та повітря. Управлінські заходи передбачають створення планів реагування на надзвичайні ситуації, адаптивне управління природними ресурсами та координацію дій державних органів, громадських організацій і бізнесу. Природоохоронні заходи включають відновлення деградованих екосистем, збереження біорізноманіття, впровадження практик сталого землекористування, агролісомеліорації та управління водними ресурсами.

Для підвищення ефективності прогнозування та запобігання екологічним кризам необхідно посилити співпрацю між державними органами, науковими установами та громадськими організаціями, забезпечити фінансування екологічних ініціатив, а також підвищувати рівень екологічної освіти та свідомості населення. Тільки за умови комплексного підходу та активної участі всіх секторів суспільства можливо ефективно прогнозувати й запобігати екологічним кризам в Україні, зберігаючи природні ресурси, забезпечуючи стійкість екосистем та підвищуючи адаптивність до змін клімату.

Попри значний потенціал штучного інтелекту у сфері сталого природокористування, його застосування супроводжується викликами і ризиками, які потребують глибокого наукового аналізу та вироблення адекватних механізмів управління. Розглянемо їх більш детально [14].

1. Технологічні ризики. Системи ШІ залежать від великих обсягів даних, які не завжди є якісними, повними чи репрезентативними. Використання некоректних або викривлених даних може призвести до хибних прогнозів і помилкових управлінських рішень. Крім того, складність алгоритмів машинного навчання часто створює проблему «чорної скриньки», коли механізми ухвалення рішень залишаються непрозорими навіть для розробників. Це ускладнює оцінку відповідальності та довіри до результатів ШІ.

2. Соціально-економічні виклики. Впровадження ШІ у природокористування може призвести до зміни структури ринку праці, зокрема витіснення певних професій, пов'язаних з моніторингом і контролем довкілля. Натомість виникає потреба у нових спеціалістах з цифрових технологій, екологічної аналітики та

398

управління даними. Така трансформація вимагає модернізації системи освіти й підготовки кадрів, а також подолання цифрової нерівності між регіонами та країнами.

3. Етичні та правові аспекти. Використання ШІ у природокористуванні потребує врегулювання питань захисту даних, прозорості алгоритмів і відповідальності за прийняті рішення. Існує ризик того, що технології можуть використовуватися у спосіб, що суперечить принципам сталого розвитку, наприклад, для посилення експлуатації ресурсів задля короткострокової вигоди. Водночас важливою є розробка правових норм, які б забезпечили баланс між інноваціями та екологічною безпекою.

4. Інституційні бар'єри. Значна частина країн і регіонів має обмежені ресурси для впровадження високотехнологічних рішень. Недостатнє фінансування, відсутність нормативно-правової бази та низький рівень міжсекторальної співпраці можуть стримувати поширення інновацій у сфері природокористування.

Таким чином, успішне впровадження штучного інтелекту у практику природокористування потребує не лише технічного удосконалення алгоритмів, а й створення комплексної системи управління ризиками. Йдеться про забезпечення якісних і відкритих даних, розвиток правових та етичних стандартів, формування нових компетентностей у фахівців і створення механізмів міжнародної співпраці. Лише за таких умов ШІ стане інструментом не тільки технологічного, а й соціально відповідального переходу до моделі сталого розвитку.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Штучний інтелект виступає стратегічним інструментом переходу до інтелектуального природокористування, забезпечуючи ефективне управління природними ресурсами, моніторинг довкілля та прогнозування екологічних ризиків. Його інтеграція в аграрний, лісовий і водний сектори сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів і зменшенню антропогенного впливу. Водночас подальший розвиток цієї сфери потребує розбудови цифрової екологічної інфраструктури, створення національної платформи моніторингу, підготовки фахівців нового покоління та вдосконалення нормативно-етичних засад використання ШІ. Для подальших досліджень доцільно зосередитися на моделюванні інтегрованих систем підтримки екологічних рішень, оцінці екологічних і соціально-економічних ефектів впровадження штучного

інтелекту, а також на розробленні механізмів міжнародної координації у сфері цифрової зеленої трансформації. Такі напрями відкривають перспективу створення національної моделі інтелектуального природокористування, сумісної з принципами Європейського зеленого курсу.

1. Lebid O., Kiporenko S., & Vovk V. Automation of production processes in agricultural enterprises: Main technologies. ResearchGate. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/394727279_AUTOMATION_OF_PRODUCTION_PROCESSES_IN_AGRICULTURAL_ENTERPRISES_MAIN_TECHNOLOGIES (дата звернення: 20.08.2025).
2. Lykhovyd P., Hranovska L., Bidnya I., Marchenko T., Averchev O., Leliavska L., Khomenko T., Haydash O., Hetman M., & Hnylytskyi Y. A review on the use of artificial intelligence and deep learning algorithms in crops phytosanitary monitoring. Phytomorphology. 2024. URL: <https://www.phytomorphology.com/articles/a-review-on-the-use-of-artificial-intelligence-and-deep-learning-algorithms-in-crops-phytosanitary-monitoring-108420.html> (дата звернення: 20.08.2025).
3. Ahmed A. A., et al. Applications of machine learning to water resources management: A review. ScienceDirect. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624001628>. (дата звернення: 20.08.2025).
4. Nawaz U., Zaheer M. Z., Khan F. S., Cholakkal H., Khan S., & Anwer R. M. AI in agriculture: A survey of deep learning techniques for crops, fisheries, and livestock. arXiv. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2507.22101>. (дата звернення: 20.08.2025).
5. Sapitang M., et al. Application of integrated artificial intelligence geographical information system in managing water resources. ScienceDirect. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938524001009>. (дата звернення: 20.08.2025).
6. IOT and big data analytics for environmental monitoring ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/393856492_IOT_and_big_data_analytics_for_environmental_monitoring. (дата звернення: 20.08.2025).
7. Comprehensive Report: Ukraine Environmental Damage Assessments. UNECE. URL: https://unece.org/sites/default/files/2024-02/Comprehensive%20Report_Ukr%20Env%20Damage%20Assessments_IACG_Dec.%202023.pdf. (дата звернення: 20.08.2025).
8. Drones in Ukraine: A Frontline Report. IFC USAFA. URL: <https://www.ifc.usafa.edu/articles/drones-in-ukraine>. (дата звернення: 20.08.2025).
9. Assessing Environmental Damage in Ukraine. CEOBS. URL: <https://ceobs.org/wp-content/uploads/2024/02/Assessing-Environmental-Damage-in-Ukraine.pdf>. (дата звернення: 20.08.2025).
10. The AI Frontier: Ukraine's role in the future of warfare. Friends of Europe. URL: <https://www.friendsofeurope.org/insights/critical-thinking-the-ai-frontier-ukraines-role-in-the-future-of-warfare>. (дата звернення: 20.08.2025).
11. Applying GIS in Strategic Environmental Assessment of Land Management in Ukraine. Earthdoc. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2023510088>. (дата звернення: 20.08.2025).
12. Drones in Ukraine (2022–2025): A Comprehensive Report. TS2 Tech. URL: <https://ts2.tech/en/drones-in-ukraine-2022-2025-a-comprehensive-report>. (дата звернення: 20.08.2025).
13. The Russia-Ukraine Drone War: Innovation on the Frontlines. CSIS. URL: <https://www.csis.org/analysis/russia-ukraine-drone-war>.

innovation-frontlines-and-beyond. (дата звернення: 20.08.2025). **14.** Russia's War in Ukraine: Artificial Intelligence in Defence of Ukraine. ICDS. URL: <https://icds.ee/en/russias-war-in-ukraine-artificial-intelligence-in-defence-of-ukraine>. (дата звернення: 20.08.2025).

REFERENCES:

1. Lebid O., Kiporenko S., & Vovk V. Automation of production processes in agricultural enterprises: Main technologies. ResearchGate. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/394727279_AUTOMATION_OF_PRODUCTION_PROCESSES_IN_AGRICULTURAL_ENTERPRISES_MAIN_TECHNOLOGIES (data zvernennia: 20.08.2025).
2. Lykhovyd P., Hranovska L., Bidnya I., Marchenko T., Averchev O., Leliavska L., Khomenko T., Haydash O., Hetman M., & Hnylytskyi Y. A review on the use of artificial intelligence and deep learning algorithms in crops phytosanitary monitoring. Phytomorphology. 2024. URL: <https://www.phytomorphology.com/articles/a-review-on-the-use-of-artificial-intelligence-and-deep-learning-algorithms-in-crops-phytosanitary-monitoring-108420.html> (data zvernennia: 20.08.2025).
3. Ahmed A. A., et al. Applications of machine learning to water resources management: A review. ScienceDirect. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624001628>. (data zvernennia: 20.08.2025).
4. Nawaz U., Zaheer M. Z., Khan F. S., Cholakkal H., Khan S., & Anwer R. M. AI in agriculture: A survey of deep learning techniques for crops, fisheries, and livestock. *arXiv*. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2507.22101>. (data zvernennia: 20.08.2025).
5. Sapitang M., et al. Application of integrated artificial intelligence geographical information system in managing water resources. ScienceDirect. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938524001009>. (data zvernennia: 20.08.2025).
6. IOT and big data analytics for environmental monitoring ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/393856492_IOT_and_big_data_analytics_for_environmental_monitoring. (data zvernennia: 20.08.2025).
7. Comprehensive Report: Ukraine Environmental Damage Assessments. UNECE. URL: https://unece.org/sites/default/files/2024-02/Comprehensive%20Report_Ukr%20Env%20Damage%20Assessments_IACG_Dec.%202023.pdf. (data zvernennia: 20.08.2025).
8. Drones in Ukraine: A Frontline Report. IFC USAFA. URL: <https://www.ifc.usafa.edu/articles/drones-in-ukraine>. (data zvernennia: 20.08.2025).
9. Assessing Environmental Damage in Ukraine. CEOBS. URL: <https://ceobs.org/wp-content/uploads/2024/02/Assessing-Environmental-Damage-in-Ukraine.pdf>. (data zvernennia: 20.08.2025).
10. The AI Frontier: Ukraines role in the future of warfare. Friends of Europe. URL: <https://www.friendsofeurope.org/insights/critical-thinking-the-ai-frontier-ukraines-role-in-the-future-of-warfare>. (data zvernennia: 20.08.2025).
11. Applying GIS in Strategic Environmental Assessment of Land Management in Ukraine. Earthdoc. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2023510088>. (data zvernennia: 20.08.2025).
12. Drones in Ukraine (2022–2025): A Comprehensive Report. TS2 Tech. URL: <https://ts2.tech/en/drones-in-ukraine-2022-2025-a-comprehensive-report>. (data zvernennia: 20.08.2025).
13. The Russia-Ukraine Drone War: Innovation on

the Frontlines. CSIS. URL: <https://www.csis.org/analysis/russia-ukraine-drone-war-innovation-frontlines-and-beyond>. (data zvernennia: 20.08.2025). 14. Russias War in Ukraine: Artificial Intelligence in Defence of Ukraine. ICDS. URL: <https://icds.ee/en/russias-war-in-ukraine-artificial-intelligence-in-defence-of-ukraine>. (data zvernennia: 20.08.2025).

Suduk O. Y. [1; ORCID ID: 0000-0002-4620-4389],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS AN INNOVATIVE TOOL FOR NATURAL CAPITAL MANAGEMENT

Contemporary global challenges-including population growth, industrialization, urbanization, and escalating ecological crises-require innovative approaches to natural resource management. Traditional methods are often insufficient due to limitations in data collection, processing, and analysis. Artificial intelligence (AI) emerges as a transformative tool, enabling a transition from exploitative to sustainable resource use. Machine learning and deep learning algorithms allow for comprehensive analysis of multidimensional ecological, climatic, and economic data, identification of hidden patterns, and development of predictive models that improve decision-making, minimize ecological risks, and support adaptive strategies under changing environmental conditions. AI can integrate with other digital technologies such as the Internet of Things (IoT), Geographic Information Systems (GIS), and blockchain to enable real-time monitoring, transparent governance, and optimized spatial planning. Practical applications in agriculture, forestry, and water management demonstrate measurable gains in resource efficiency, ecosystem protection, and resilience to climate variability. Nevertheless, AI adoption faces technological, socio-economic, ethical, and institutional challenges, including data quality, workforce transformation, and regulatory gaps. This study examines AI's current and potential role in sustainable resource management in Ukraine, providing insights and recommendations for integrating data-driven, intelligent strategies into environmental governance, policy-making, and long-term ecological sustainability.

Keywords: artificial intelligence; communications; natural capital; green transformation; resource management; project expertise.

Отримано: 13 вересня 2025 року
Прорецензовано: 18 вересня 2025 року
Прийнято до друку: 26 вересня 2025 року