

УДК 351:311.3:627.7

DOI: <https://doi.org/10.17721/3041-1912.2024/2-3/11>

Олег МАШКОВ, д-р техн. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0001-9227-4647

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Київ, Україна

Володимир ПРИСЯЖНИЙ, канд. техн. наук

ORCID ID: 0000-0001-7825-9037

e-mail: V_Prysiashnyi@gmail.com

Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Київ, Україна

Тамара ОВОДЕНКО, асп.

ORCID ID: 0009-0004-9389-9357

e-mail: Ovodenko_Tamara@gmail.com

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Київ, Україна

НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМОГО ПІДХОДУ В СИСТЕМІ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Вступ. Тема оцінювання застосування системного підходу в системі державного управління екологічною безпекою з використанням аерокосмічних технологій набула особливої актуальності для українського суспільства з початком війни, оскільки воєнні дії спричинили та трансграничні впливи на довкілля та природні ресурси й зумовили ризики для екосистем, економіки України та за її межами. Тому виникає необхідність приєднатись до європейського і світового досвіду оцінювання і відновлення порушених екосистем за допомогою системного аналізу процесів та явищ у навколишньому середовищі й формуванні й реалізації управлінських рішень. Такий підхід передбачає насамперед здійснити екологічний моніторинг з метою дослідження причин і наслідків впливу на екосистеми, а потім синтезувати управлінські рішення, спрямовані на забезпечення екологічної безпеки. Сучасний рівень розвитку науки та технологій надає можливість застосовувати системи штучного інтелекту в системах управління екологічною безпекою регіонів, підприємств та організацій із використанням аерокосмічних технологій.

Мета роботи полягає у визначенні напрямів застосування системного підходу в системі державного управління екологічною безпекою з використанням аерокосмічних технологій та застосування штучного інтелекту.

Методи. У статті використано низку загальнонаукових та спеціальних методів. Для оцінки наукових досліджень та нормативно-правових актів щодо формування та функціонування системи управління екологічною безпекою використовувалися методи системного аналізу, синтезу управлінських рішень; методи обробки дистанційних даних, багатоспектральних космічних знімків; методи геопросторового моделювання, математична статистика.

Результати. Проаналізовано особливості побудови систем управління екологічною безпекою із застосуванням штучного інтелекту та аерокосмічних технологій. Запропонований підхід комплексного оцінювання порушених екосистем із застосуванням штучного інтелекту опрацьовується і перевіряється на різних територіях, різних типах екосистем та різних джерелах даних, зокрема демонстраційний приклад подано і в цій статті також. Застосування системи управління екологічною безпекою з інтелектуальною підсистемою підтримки прийняття управлінських екологічних рішень буде досить корисним для післявоєнного відновлення території України, охорони довкілля, збалансованого природокористування та сталого розвитку. Подальші дослідження варто зосередити на застосуванні інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень для усунення екологічних ризиків, підвищення екологічної безпеки. Із використанням системного підходу екологічні рішення в системах штучного інтелекту розглядаються як системне поєднання інформаційних, організаційних та оперативних рішень, які стосуються таких напрямів захисту довкілля та природних ресурсів: оцінювання та прогнозування стану атмосферного повітря; оцінювання і прогнозування зміну клімату; оцінювання та прогнозування стану водних ресурсів; оцінювання і прогнозування стану біологічного й ландшафтного різноманіття, розвитку природно-заповідного фонду й формування національної екологічної мережі; оцінювання та прогнозування стану земельних ресурсів і ґрунтів; оцінювання й прогнозування стану надр; оцінювання та прогнозування стану поводження з відходами; оцінка стану об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку; оцінювання і прогнозування стану промисловості та її впливу на довкілля; оцінювання і прогнозування стану сільського господарства та його вплив на довкілля; оцінювання та прогнозування стану енергетики та її вплив на довкілля; оцінювання та прогнозування стану транспорту та його вплив на довкілля; оцінювання та прогнозування стану сталого споживання та виробництва; розробка рекомендацій щодо здійснення державного управління у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Висновки. Розробка та впровадження державної і регіональних (галузевих) систем управління екологічною безпекою можливо шляхом застосування системного підходу із використанням аерокосмічних технологій. Означені системи мають виконувати такі функції: отримання екологічної інформації в реальному часі, обробка цієї інформації, прогнозне моделювання екологічних процесів, визначення екологічних ризиків (у просторі та часі), надання пропозицій та рекомендацій щодо усунення несприятливих екологічних ситуацій за визначеними показниками (критеріями ефективності системи управління). Застосування в системі управління екологічною безпекою передбачає здійснення екологічного моніторингу шляхом комплексного дистанційного оцінювання стану порушених екосистем та проведення геопросторового аналізу відповідних ризиків. Застосування штучного інтелекту є важливим, гнучким, зручним і корисним інструментом управління та планування розвитку територій. Особливого значення методи дистанційного зондування з використанням аерокосмічних технологій набувають в умовах широкомасштабних бойових дій, що ведуться в Україні зараз. У багатьох випадках лише дистанційні методи із застосуванням штучного інтелекту здатні надати достовірну прогностичну інформацію про стан екосистем, недоступних або небезпечних для наземних досліджень. Методологічною основою дослідження проблеми формування системи управління екологічною безпекою довкілля та природних ресурсів, об'єктів критичної інфраструктури має стати інтелектуальна система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень, розробка спеціальних методів дослідження, спрямованих на отримання об'єктивних і достовірних результатів. Із використанням системного підходу екологічні рішення в системах штучного інтелекту розглядаються як системне поєднання інформаційних, організаційних та оперативних рішень, які стосуються захисту довкілля та природних ресурсів.

Ключові слова: аерокосмічні технології, державне управління, довкілля та природні ресурси, екологічна безпека, екологічний моніторинг, система управління, системний підхід, штучний інтелект.

Вступ

Однім із завдань управління екологічно безпекою організацій, підприємств, регіонів є здійснення екологічного моніторингу, обробка даних екологічного спостереження, отриманих за допомогою наземних і мобільних комплексів, що визначають екологічний стан відповідного району та об'єктів спостереження. Для обробки даних екологічного спостереження сьогодні застосовуються відповідні методики, інструкції, настанови, нормативні документи тощо. Також має місце практичне застосування експертів з метою аналізу екологічних ситуацій та визначення екологічних ризиків. Використання експертної оцінки екологічних процесів потребує як часу, так і можливості залучення кваліфікованих експертів. У статті розглядається новітній підхід – застосування систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень на основі штучного інтелекту. Такий підхід дає змогу системно визначати екологічні ризики (у просторі й часі) та рекомендувати ефективні (оптимальні) за визначеними показниками управлінські екологічні рішення: наприклад, час ліквідації екологічних нештатних ситуацій, аварій, катастроф; вартість заходів щодо усунення несприятливої ситуації; досягнення відповідних нормативних екологічних показників.

Проведений аналіз свідчить, що сучасні штучні системи обробки інформації (аналізу даних, машинне навчання) здебільшого ґрунтуються на аналогії функціонування відповідних процесів у біологічних організмах. До таких процесів слід віднести функціонування генної мережі, імунні процеси, функціонування нейронних мереж тощо. Особливістю таких систем є високий рівень складності, здатність навчатися, розпаралелювання процесу обробки інформації, високий рівень захисту, здатність розпізнавати та приймати адекватні рішення. У цьому контексті розробка сучасних штучних моделей обробки даних екологічного моніторингу можлива із застосуванням системного підходу, який передбачає комплексне застосування знань та методів із різних галузей, а саме: молекулярної біології, математики, інформатики, фізики, хімії.

Для обробки даних екологічного моніторингу пропонується застосовувати моделі глибинного навчання, а саме: глибинні нейронні мережі, згорткові нейронні мережі, штучні глибинні мережі, які дають змогу отримати задовільну точність діагностики екопроцесів на великих даних, але при цьому виникає проблема часу навчання, чутливості мережі та верифікації отриманих моделей на інших, аналогічних даних [8–10].

Такий підхід створює умови для скорочення часу аналізу екологічної ситуації та підвищення об'єктивності обробки даних екологічного спостереження в реальному часі за рахунок застосування ансамблів методів, гібридних моделей та ефективних критеріїв якості оцінки результатів на відповідному етапі реалізації процесу обробки інформації.

Розв'язання вищезазначеної проблеми можливе шляхом застосування державної та регіональних (галузевих) систем управління екологічною безпекою. Означені системи мають виконувати такі функції: отримання екологічної інформації в реальному часі, обробка цієї інформації, прогнозне моделювання екологічних процесів, визначення екологічних ризиків

(у просторі та часі), надання пропозицій і рекомендацій щодо усунення несприятливих екологічних ситуацій за визначеними показниками (критеріями ефективності системи управління).

Викладене вище визначає *мету роботи*, яка полягає у визначенні напрямів застосування системного підходу в системі державного управління екологічною безпекою з використанням аерокосмічних технологій та застосування штучного інтелекту.

Методи

У статті використано низку загальнонаукових та спеціальних методів.

Розв'язання вищезазначеної проблеми можливе шляхом застосування загальнонаукових та спеціальних методів. Для оцінки наукових досліджень та нормативно-правових актів щодо формування та функціонування державної та регіональних (галузевих) систем управління екологічною безпекою використовувалися методи системного аналізу, синтезу управлінських рішень.

Для застосування штучного інтелекту в системах управління екологічною безпекою пропонується використовувати методи обробки дистанційних даних, багатоспектральних космічних знімків; методи геопросторового моделювання, математичну статистику.

Результати

Ми живемо в умовах клімату, що стрімко змінюється та провокує виникнення екстремальних погодних явищ і природних катаклізмів, які в найближчому майбутньому будуть тільки посилюватися та наростати, створюючи реальну загрозу для існування цілих екосистем, біорізноманіття, людської цивілізації в цілому. Саме тому технології на основі штучного інтелекту, які зараз активно проникають у різноманітні сфери людського життя, можуть також допомогти людству підготуватися та адаптуватися до негативних кліматичних змін та погодних катаклізмів. Погіршення стану екосистем відбувається як унаслідок зміни клімату, техногенних аварій та катастроф, такі через ведення воєнних дій на території України. Так має місце деградація лісових екосистем, північні та північно-східні лісові території зазнали особливих втрат унаслідок масованого застосування артилерії та ударної авіації по військових та інфраструктурних об'єктах у лісах і поблизу них. Це спричинило і продовжує спричинювати лісові пожежі, які в посушливих умовах здатні знищити тисячі гектарів лісу. Також погіршується стан екосистем суходолу та морів, прісноводних водойм, сільськогосподарських угідь, штучних екосистем. Забруднення екосистем токсичними елементами, нафтопродуктами пов'язано з фізико-хімічним впливом через рух важкої техніки тощо.

Системний аналіз отриманих карт дає змогу оцінити змінення земних покривів за такий короткий час: різке зменшення площі водних об'єктів, хвойних і листяних покривів, тоді як неозброєним оком видно збільшення площі відкритого ґрунту, штучних покриттів тощо. Карта ризику порушення екосистем території дає можливість наглядно демонструвати ділянки високого рівня ризику втрати екосистем.

Слід визначити, що комплексне дистанційне оцінювання стану порушених екосистем та геопросторовий аналіз відповідних ризиків є важливим, гнучким, зручним і корисним інструментом управління та планування розвитку територій. Особливого

значення методи дистанційного зондування набувають в умовах широкомасштабних бойових дій, що ведуться в Україні зараз. У багатьох випадках лише дистанційні методи здатні надати інформацію про стан екосистем, недоступних або небезпечних для наземних досліджень.

Наразі запропонований підхід комплексного оцінювання порушених екосистем із застосуванням штучного інтелекту опрацьовується і перевіряється на різних територіях, різних типах екосистем та різних джерелах даних, зокрема демонстраційний приклад подано і в цій статті також. Застосування системи управління екологічною безпекою з інтелектуальної підсистемою підтримки прийняття управлінських екологічних рішень буде досить корисним для післявоєнного відновлення території України, охорони довкілля, збалансованого природокористування та сталого розвитку.

Подальші дослідження варто зосередити на застосуванні інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень для усунення екологічних ризиків, підвищення екологічної безпеки.

Сучасний підхід до побудови систем штучного інтелекту розглядається у багатьох працях, зокрема Дж. Нільссон (Nils J. Nilsson, 2009), Стюарт Дж. Рассел, Питер Норвіг (Stuart J. Russell, Peter Norvig, 2015), Макс Тегмарк (2019).

Жорсткі і м'які математичні моделі та їх застосування запропонували І. Огірко, М. Ясінський, Л. Ясінська-Дамрі (2015). Елементи теорії індуктивного моделювання, стан та перспективи розвитку інформатики в Україні розглянуто в працях В. Степашко (2010).

Засоби штучного інтелекту досліджуються у працях вітчизняних науковців, зокрема, Р. Ткаченко, Н. Куштра, О. Павлюк, В. Поліщук (2014). Н. Шаховська, Р. Камінський, О. Вовк (2014–2018). Застосування згорткових нейронних мереж у системах класифікації великих даних розглянуто в працях Б. Дурняка, С. Бабічева, Л. Ясінської-Дамрі (2018–2022).

Концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки запропонована в працях О. Бондар, О. Машков, В. Присяжний, Т. Оводенко, В. Печений (2023).

Інтеграція аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою: оцінка ефективності застосування системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень розглянута в працях О. Машкова, Т. Іващенко, К. Мухіної, В. Печеного (2023).

Відновлення екосистем охоплює широкий спектр практик залежно від місцевих умов і суспільного вибору. Застосування систем управління екологічною безпекою реалізує критичну потребу зупинити, запобігти та повернути назад деградацію екосистем, а також ефективно відновити порушені наземні, прісноводні та морські екосистеми в Європі та в усьому світі. Існує потреба в спільному баченні відновлення екосистем, яке визначається як "процес припинення та звернення назад деградації, що приведе до покращення екосистемних послуг і відновлення біорізноманіття.

Принципи та методологія проєктів відновлення базуються на Екосистемному підході та Короткостроковому плані дій з відновлення екосистем, прийнятих Сторонами Конвенції про біологічне

різноманіття, а також Принципами Міжнародного союзу охорони природи для прийняття управлінських рішень заради збереження природи (for Nature-Based Solutions) з урахуванням принципів відновлення лісів і ландшафтів, міжнародних принципів та стандартів практики екологічного відновлення Товариства екологічного відновлення (TEB).

Кожен із десяти принципів, які лежать в основі відновлення екосистем і представлені в рамках Десятиліття ООН, повинен розглядатися і втілюватися в екологічних програмах відновлення екосистем України, порушених унаслідок воєнних дій. Успішне відновлення екосистем має на меті сприяти досягненню Порядку денного сталого розвитку до 2030 року та його 17 Цілей. Викладене зумовлює надзвичайну актуальність зазначеної теми, особливо в найближчому майбутньому.

Зважаючи на постійну деградацію різних екосистем, відновлення є неминучим компонентом природоохоронного та природозберігаючого менеджменту. Десятиліття ООН з відновлення екосистем триває з 2021 по 2030 р. Відновлення екосистем і підвищення біорізноманіття є ключовим моментом Європейської Зеленої Угоди.

Наразі Європейська комісія прийняла пропозиції щодо відновлення порушених екосистем і природи по всій Європі – від сільськогосподарських угідь до лісів і міського середовища. Пропозиція закону про відновлення природи є ключовим кроком у запобіганні колапсу екосистем та запобіганні найгіршим наслідкам зміни клімату та втрати біорізноманіття.

Останнє десятиліття тема відновлення пошкоджених зруйнованих екосистем також є актуальною для українського суспільства. Але з початком війни це стало набагато важливішим, оскільки бойові дії завдали широкомасштабної і серйозної шкоди навколишньому середовищу та спричинила як негайні, так і довгострокові наслідки для екосистем, економіки України та за її межами.

Реалізація вимог та директиви Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом передбачають розробку та впровадження ефективної системи управління екологічною безпекою. Створення такої системи відповідає європейським і світовим підходам до екологічного управління та розширяє можливості міжнародної співпраці України в галузі охорони навколишнього природного середовища. Така система управління екологічною безпекою сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність із європейськими і світовими вимогами. Застосування інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки як складової системи екологічного управління, сприяє підвищенню екологічної безпеки та формування державної політики сталого розвитку, виконання міжнародних зобов'язань України в природоохоронній сфері. Тому потрібні наукові розробки сучасних технологій забезпечення екологічної безпеки та захисту навколишнього середовища при здійсненні екологічного управління з використання систем штучного інтелекту.

Наразі в Україні здатні попередньо оцінювати шкоду, завдану екосистемам від прямої дії військової агресії, на територіях, уже вільних від окупації. Що стосується тимчасово окупованих територій і територій, де відбуваються воєнні дії, то це можливо нині здійснювати лише за допомогою супутникових знімків.

З використанням системного підходу екологічні рішення в системах штучного інтелекту розглядаються як системне поєднання інформаційних, організаційних та оперативних рішень, які стосуються таких напрямів захисту довкілля та природних ресурсів: оцінювання та прогнозування стану атмосферного повітря; оцінювання та прогнозування зміну клімату; оцінювання та прогнозування стану водних ресурсів; оцінювання та прогнозування стану біологічного та ландшафтного різноманіття, розвитку природно-заповідного фонду та формування національної екологічної мережі; оцінювання та прогнозування стану земельних ресурсів та ґрунтів; оцінювання та прогнозування стану надр; оцінювання та прогнозування стану поводження з відходами; оцінка стану об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку; оцінювання і прогнозування стану промисловості та її впливу на довкілля; оцінювання та прогнозування стану сільського господарства та його вплив на довкілля; оцінювання й прогнозування стану енергетики та її впливу на довкілля; оцінювання і прогнозування стану транспорту та його вплив на довкілля; оцінювання та прогнозування стану сталого споживання та виробництва; розробка рекомендацій щодо здійснення державного управління у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Застосування штучного інтелекту спрямовано на оцінювання стану екосистем, що само по собі є складним комплексним суперечливим завданням, яке зазвичай вирішується шляхом декомпозиції оцінок за окремими показниками з подальшим їх поєднанням у підсумкову оцінку. Складність цього завдання ще підсилюється в разі застосування для неї в основному дистанційних методів. Зрозуміло, що для різних екосистем та різних видів оцінок технології застосування дистанційних методів будуть відрізнятися, але застосування штучного інтелекту дає змогу виокремити певну спільну для всіх випадків послідовність дій, що складатиме ядро будь-якої технології оцінювання.

Основними сутностями, що утворюють ядро технології дистанційного оцінювання стану екосистем із застосуванням штучного інтелекту, виступають:

- (біо)фізична ґрунтовність залучених показників та інформаційних продуктів;
- використання кількох (багатьох) окремих каналів одержання інформації паралельно;
- побудова часових серій спостережень, довжина яких (сезонна, багаторічна) визначається природою досліджуваного феномена;
- багаторівнева (просторова, часова, гетерогенна) статистична обробка результатів спостережень;

– злиття різнорідних даних для отримання фінальної карти оцінки стану досліджуваної екосистеми.

Геоінформаційне ядро загальної технології оцінювання стану екосистем дистанційними методами може бути описано схемою (рис. 1).

Оцінювання починається з визначення n -чинників, що визначають стан екосистеми. У багатьох випадках самі чинники неможливо вимірювати дистанційно, тому цей процес має опосередковуватися реєстрацією певних сигналів, що пов'язані з чинниками та можуть спостерігатися дистанційно – індикаторами. Часто зв'язок між чинниками та індикаторами непрямий, “один до багатьох” або “багато до одного”, і значить кількість індикаторів m , як правило, не дорівнює кількості чинників. У подальшому опрацьовуються виключно дистанційно одержані карти індикаторів. За запропонованою парадигмою індикатори не є оптичними сигналами дистанційних сенсорів або їх прямими похідними, таким як, наприклад, спектральні індекси. Індикатори повинні мати (біо)фізичну сутність, що притаманно земній поверхні, наприклад, проєктивне покриття або площа листової поверхні, температура та вологість ґрунту, ухил рельєфу, склад гірських порід та ін. Перетворення “сирих” оптичних сигналів сенсора на (біо)фізичні параметри земної поверхні потребує складної тематичної обробки та витонченого геопросторового моделювання.

Наступна проблема пов'язана з неможливістю прямого поєднання вимірювань різної фізичної природи. Насправді, як інтерпретувати вплив різних індикаторів на результуючу оцінку, якщо їх взаємозв'язок точно не відомий, да й до того ж суперечить один одному? Ми пропонуємо додаткове тематичне або статистичне моделювання, як перетворить значення кожного індикатора на відповідну часткову умовну імовірність того чи іншого фінального стану екосистеми за такого значення. Надалі вже постає можливим поєднати (злити) часткові імовірності до єдиної комбінованої імовірності стану досліджуваної екосистеми одним із відомих методів теорії імовірності.

Наприкінці аналіз одержаної часової серії злитих імовірностей дасть змогу оцінити не лише поточний стан екосистеми, а й спрогнозувати перебіг подальших його змін.

Індикаторами стану екосистем обрано зміни класів земного покриття та рослинного покриву, який характеризується атмосферно-стійким вегетаційним індексом VARI (visible atmospherically resistant index).

Ця конкретна реалізація загальної технології рис. 1 описується схемою (рис. 2).

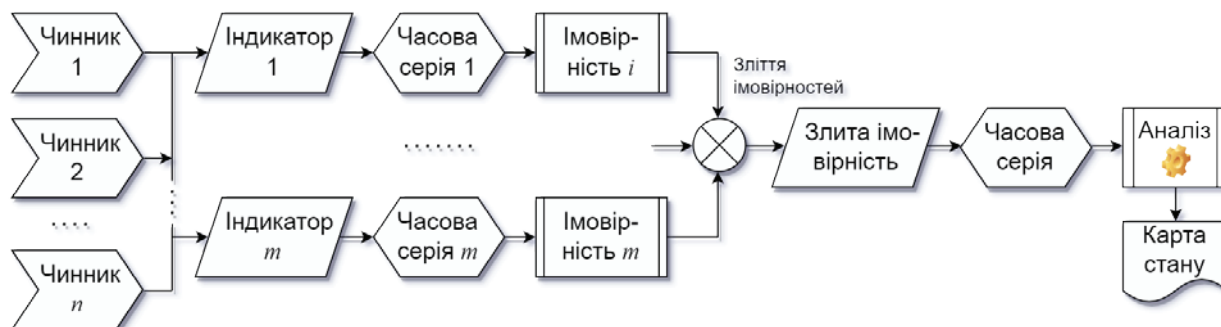


Рис. 1. Схема оцінювання стану екосистем дистанційними методами

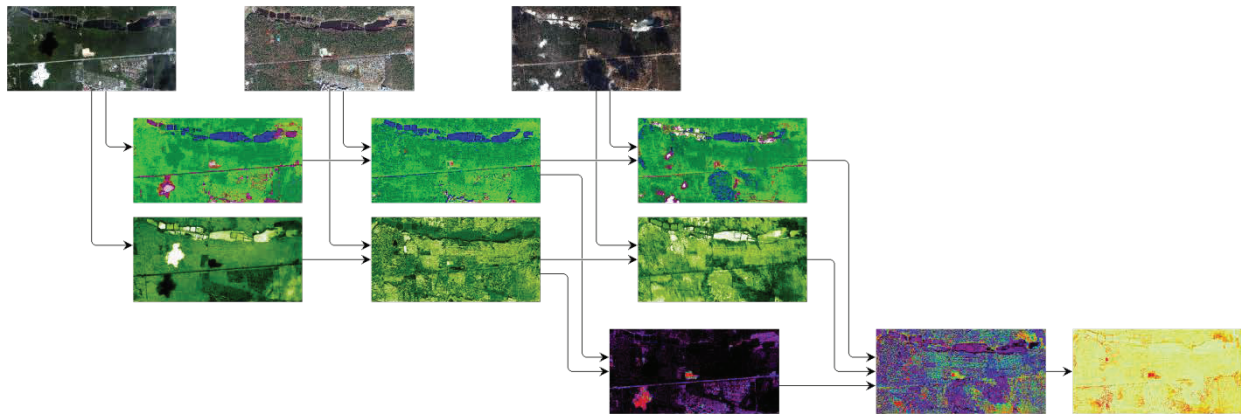


Рис. 2. Демонстрація оцінювання стану екосистем дистанційними методами

За кожний період спостережень створюються два інформаційні продукти на території досліджень – класифікація земних покривів та розподіл VARI. Далі ці продукти перетворюються на часткові імовірнісні карти стану екосистем, які потім зливаються до єдиної карти комбінованої імовірності в кожен момент часу. За результатами аналізу одержаної часової серії формується підсумкова карта оцінок стану екосистем.

Об'єктом інтелектуальної підтримки у нештатних, аварійних, катастрофічних екологічних ситуацій є процес моделювання в системі «оператор – інтелектуальна система підтримки прийняття рішень». Цей процес представимо як результат послідовного переходу від екологічного об'єкта (системи), що моделюється, спочатку до статичних моделей, що використовуються в завданнях аналізу і прогнозу при екологічному управлінні, а потім до динамічних моделей, що безпосередньо використовуються у процесі оперативного управління в рамках принципу конкуренції на базі методів класичної теорії управління, нечітких та неймережєвих алгоритмів.

Аналіз альтернатив та прийняття рішень здійснюються на основі критеріальної системи, що включає національні та міжнародні вимоги до екологічної безпеки об'єкта спостереження. При виборі схеми імітаційного моделювання вводиться поняття середовища, що дає змогу використовувати інформацію прикладного характеру про цілі моделювання, закони функціонування системи, наявний математичний апарат для дослідження методів та алгоритмів екологічного управління.

Область статичних моделей прогнозу (еволюційне моделювання) представляє рух у просторі статичних моделей у процесі функціонування системи. Область динамічних моделей характеризує рух у просторі динамічних (активних) моделей, що дістала назву «моделювання із самоорганізацією». Компоненти екологічної моделі базуються на евристичних уявленнях і можуть змінюватися в процесі накопичення інформації про динаміку взаємодії об'єкта екологічного спостереження із зовнішнім середовищем за різного рівня зовнішнього впливу в умовах планової діяльності.

Підвищення ефективності функціонування, достовірності оцінки та прогнозу досліджуваної ситуації в інтелектуальній системі підтримки прийняття управлінських екологічних рішень досягається з

використанням принципів обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі.

Підвищення достовірності оцінки та прогнозу екологічних ситуацій у системі управління екологічною безпекою на основі систем штучного інтелекту досягається з використанням нового підходу до обробки інформації, що базується на розвитку концепції «м'яких обчислень». Цей підхід передбачає використання теоретичних принципів, що дають змогу раціонально організувати обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі.

Для створення технології обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень доцільно застосовувати інформаційну модель інтегрованого середовища підтримки прийняття рішень.

Обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень передбачає застосування та використання нових поколінь мультипроцесорних обчислювальних середовищ з урахуванням реальних даних про екологічну ситуацію в районі проведення екологічного моніторингу: принцип відкритості та складності, принцип конкуренції, принцип формалізації нечіткої інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі, принцип складності, принцип нелінійної самоорганізації.

В інтелектуальних системах управління екологічною безпекою доцільно застосовувати процедуру «цілеспрямований пошук на основі відмінності-подібності». Така процедура дуже поширена, коли особа, яка приймає рішення, шукає вирішення завдання, результатом відповіді на яку є віднесення чи невіднесення будь-якого об'єкта до певного класу об'єктів. Наприклад, можливо ототожнити два зображення, показані на рис. 3. В інтелектуальній системі управління екологічною безпекою є група перетворень, що включає повороти та переміщення за будь-якими напрямками. Цих перетворень цілком достатньо, щоб поєднати між собою обидва зображення.

Процедура «цілеспрямований пошук на основі відмінності-подібності» дає змогу виявити відмінність у зображеннях. Єдина відмінність полягає в тому, що одне із зображень повернуто щодо іншого. Знаходження цієї відмінності викликає необхідність застосувати перетворення повороту. Для того, щоб остаточно переконатися в тотожності зображень, треба усунути

різницю в їх місцезнаходженні. Воно усувається процедурою переміщення по площині.

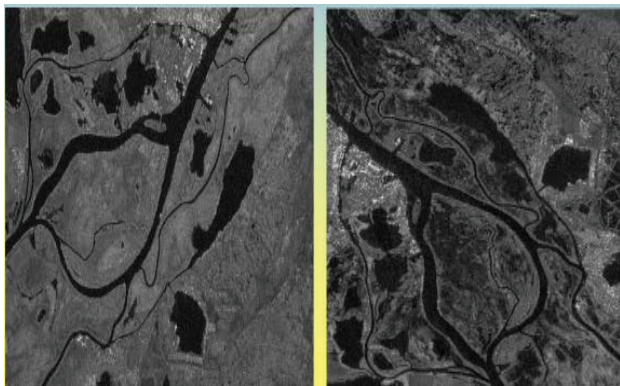


Рис. 3. Космічні зображення території спостереження КА Sentinel 1A, 2023-05-25, 04:05 (UTC); КА Sentinel 1A, 2023-06-13, 03:56 (UTC)

У загалі процедура «цілеспрямований пошук на основі відмінності-подібності» полягає у повторенні низки однотипних кроків: виявити наявні відмінності в об'єктах; обрати одну з відмінностей; визначити процедуру, що усуває цю відмінність; якщо такої процедури немає, то відповідь негативна – об'єкти не однакові, процедура закінчена; якщо така процедура є, то застосувати її; перевірити чи залишилися розбіжності в об'єктах; якщо відмінностей немає, то відповідь позитивна – об'єкти однакові, кінець процедури; якщо відмінності є, перейти до початку процедури.

Процес навчання в інтелектуальній системі управління екологічною безпекою може відбуватися різними шляхами. При цьому, якщо на безлічі об'єктів якимось чином задана процедура встановлення подібності (схожості), то виникає можливість перенесення процедур, що були успішними для усунення відмінностей на одному об'єкті, на безліч об'єктів, подібних до раніше відомих.

Як правило, подібність на об'єктах задається через подібність їхніх примарних структур. На рис. 4.

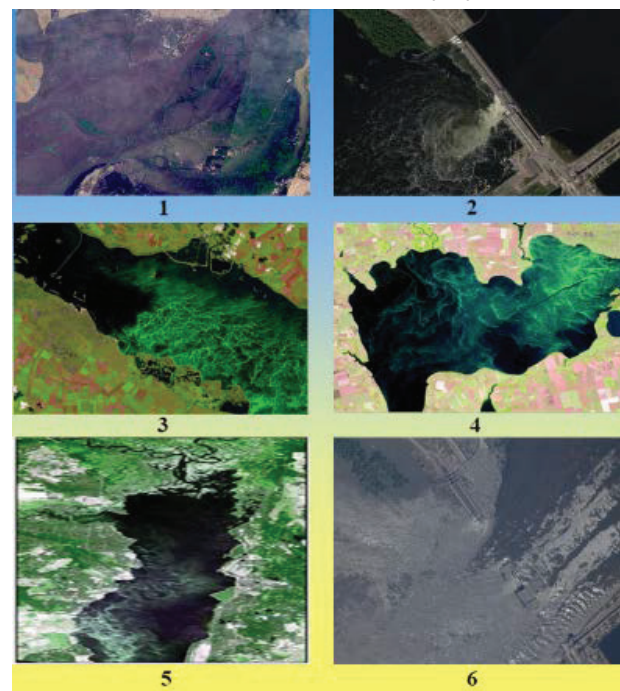


Рис. 4. Космічні зображення різних об'єктів спостереження

наведено космічні зображення різних об'єктів спостереження (Зображення явища «цвітіння води» супутником Sentinel-2 на прикладі: Кременчуцького водосховища отримане 22 серпня 2015 р.; Дослідження просторового розподілу ділянок цвітіння синьо-зелених водоростей на території Київського водосховища (космічний знімок Landsat 8 станом на 13 серпня 2013 р.) в районі населених пунктів Козаровичі – Лютіж); гребель Каховського водосховища – космічний знімок Landsat 8 станом на 4 червня 2023 р.).

Інтелектуальна система управління екологічною безпекою визначила, що об'єкти 1, 3, 4, 5 подібні між собою, а об'єкти 2 та 6 утворюють інший клас подібних об'єктів. Ураховуємо, що фундаментальною рисою природного інтелекту є його здатність до навчання, адаптації до середовища, виявлення знань про неї, здатність вести себе доцільно і цілеспрямовано відповідно до поставлених цілей.

У рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень слід зазначити, що отримані результати можуть бути використані для забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів із використанням аерокосмічних технологій отримання інформації про стан навколишнього природного середовища техногенно небезпечних об'єктів (об'єктів критичної інфраструктури). Крім того, вони можуть бути основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктів критичної інфраструктури за допомогою систем штучного інтелекту.

Результати дослідження також можуть бути використані при формуванні суспільної думки щодо значення та актуальності застосування державної та регіональних (галузевих) систем управління екологічною безпекою для підвищення позитивного іміджу України на міжнародній арені як активного та надійного суб'єкта системи охорони довкілля, збалансованого природокористування та сталого розвитку.

Дискусія і висновки

1. Розробка та впровадження державної та регіональних (галузевих) систем управління екологічною безпекою можливо шляхом застосування системного підходу з використанням аерокосмічних технологій. Означені системи мають виконувати такі функції: отримання екологічної інформації в реальному часі, обробка цієї інформації, прогнозне моделювання екологічних процесів, визначення екологічних ризиків (у просторі та часі), надання пропозицій та рекомендації щодо усунення несприятливих екологічних ситуацій за визначеними показниками (критеріями ефективності системи управління).

2. Застосування в системі управління екологічною безпекою передбачає здійснення екологічного моніторингу шляхом комплексного дистанційного оцінювання стану порушених екосистем та проведення геопросторового аналізу відповідних ризиків. Застосування штучного інтелекту є важливим, гнучким, зручним і корисним інструментом управління та планування розвитку територій. Особливого значення методи дистанційного зондування з використанням аерокосмічних технологій набувають в умовах

широкомасштабних бойових дій, що ведуться в Україні зараз. В багатьох випадках лише дистанційні методи із застосуванням штучного інтелекту здатні надати достовірну прогнозну інформацію про стан екосистем, недоступних або небезпечних для наземних досліджень.

3. Проте дистанційним методам притаманна низка недоліків – обмежена детальність, залежність від сезонних і погодних умов, складність для безпосереднього сприйняття тощо. Для подолання зазначених недоліків штучний інтелект виконує завдання картування ризику порушення екосистем, що ґрунтується на врахуванні набору дистанційних індикаторів стану екосистем, їх імовірнісному згортанні та аналізі довготривалої часової серії спостережень.

4. При розробці системи управління екологічною безпекою держави, окремих регіонів доцільним є використання системного підходу, який передбачає: проведення системного аналізу довкілля та природних ресурсів, обробку результатів спостереження та визначення екологічних ризиків на основі прогностичних моделей, формування управлінських рішень (програма дій) щодо усунення екологічних ризиків. Виконання цих процедур пропонується доручити підсистемі підтримки прийняття управлінських екологічних рішень із застосуванням штучного інтелекту. Сформовані управлінські рішення формалізуються для впровадження особі, яка приймає відповідні рішення в системах державного управління та менеджменту.

5. Методологічною основою дослідження проблеми формування системи управління екологічною безпекою довкілля та природних ресурсів, об'єктів критичної інфраструктури має стати інтелектуальна система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень, розробка спеціальних методів дослідження, спрямованих на отримання об'єктивних та достовірних результатів. Із використанням системного підходу екологічні рішення в системах штучного інтелекту розглядаються як системне поєднання інформаційних, організаційних та оперативних рішень, які стосуються захисту довкілля та природних ресурсів.

Внесок авторів: Олег Машков – визначення мети статті, аналіз міжнародних нормативно-правових актів; Володимир Присяжний – опис методів і джерел дослідження; Тамара Оводенко – формулювання висновків і дискусійних положень.

Список використаних джерел

- Nils, J., Nilsson. (2009). *The Quest for Artificial Intelligence*. Cambridge University Press. 1. ISBN 978-0521116398.
- Stuart, J., Russell, & Peter, Norvig. (2015). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson. 3. ISBN 978-9332543515.
- Бондар, О. І., Машков, О. А., Присяжний, В. І., Оводенко, Т. С., & Печений, В. Л. (2023). Концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. ДЕА. 3(48). 7–16.
- Бондар, О. І., Машков, О. А., Присяжний, В. І., Оводенко, Т. С., & Печений, В. Л. (2023). Парадигма обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для підтримки прийняття рішень в галузі еко-

логічної безпеки. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. ДЕА. 4(49). 144–152.

Дурняк, Б., Бабічев, С., & Ясінська-Дамрі, Л. (2022). Застосування згорткових нейронних мереж у системах класифікації великих даних. *Комп'ютерні технології друкарства*. 1(47). 8–20.

Машков, О. А., Іващенко, Т. Г., Мухіна, К. Є., Триснюк, В. М., & Чумаченко, С. М. (2023). Системний підхід в екологічних науках: системний екологічний аналіз та синтез управлінських екологічних рішень. Середняк Т.К. 642. ISBN 978-617-8245-31-3.

Машков, О. А., Іващенко, Т. Г., Мухіна, К. Є., & Печений, В. Л. (2023). Інтеграція аерокосмічних технологій в систему управління екологічною безпекою: оцінка ефективності застосування системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля: науковий журнал*, 4, 20–27.

Огірко, І. В., Ясінський, М. Ф., & Ясінська-Дамрі, Л. М. (2015). Жорсткі і м'які математичні моделі та їх застосування. *Наукові записки [Української академії друкарства]*, 1(15), 102–117.

Степашко, В. С. (2010). Елементи теорії індуктивного моделювання. *Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні*. Наукова думка. 471–486.

Тегмарк, Макс. (2019). *Жизнь 3.0: время искусственного интеллекта*. Наш формат. 432. ISBN 978-617-7682-99-7.

Ткаченко, Р. А., Кустра, Н. А., Павлюк, О. М., & Поліщук, В. В. (2014). *Засоби штучного інтелекту*. Нац. ун-т «Львів. політехніка». Вид-во Львів. політехніки. 204. ISBN 978-617-607-692-6.

Шаховська, Н. Б., Камінський, Р. М., Вовк О. Б. (2018). *Системи штучного інтелекту*. Вид-во Львівської політехніки. 392. ISBN 966-941-197-6.

References

Bondar, O. I., Mashkov, O. A., Prysiaznyi, V. I., Ovodenko, T. S., & Pechenyi V. L. (2023). The concept of creating an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety, *Ecological sciences: a scientific and practical journal*, DEA, 3(48), 7–16 [in Ukrainian].

Bondar, O. I., Mashkov, O. A., Prysiaznyi, V. I., Ovodenko, T. S., & Pechenyi V. L. (2023). The paradigm of information processing in an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety, *Ecological sciences: a scientific and practical journal*. DEA, 4(49), 144–152 [in Ukrainian].

Durnyak, B., Babichev, S., & Yasinska-Damri, L. (2022). Application of convolutional neural networks in big data classification systems. *Computer technologies of printing*, 1(47), 8–20 [in Ukrainian].

Mashkov, O. A., Ivashchenko, T. G., Mukhin, E. A., Mukhina, K. E., Trysnyuk, V. M., & Chumachenko, S. M. (2023). *System approach in environmental sciences: systemic ecological analysis and synthesis of management ecological solutions*, Serednyak T. K., 642, ISBN 978-617-8245-31-3 [in Ukrainian].

Mashkov, O. A., Ivashchenko, T. G., Mukhina, K. E., & Pechenyi, V. L. (2023). Integration of aerospace technologies into the environmental safety management system: evaluation of the effectiveness of the application of the support system for making managerial informational environmental decisions, *Environmental safety and environmental protection technologies: scientific journal*, 4, 20-27 [in Ukrainian].

Nils, J., Nilsson. (2009). *The Quest for Artificial Intelligence*. Cambridge University Press, 1, 578, ISBN 978-0521116398.

Oghirko, I. V., Yasinskyi, M. F., & Yasinska-Damri, L. M. (2015). Hard and soft mathematical models and their application. *Scientific notes [of the Ukrainian Academy of Printing]*, 1 (15), 102–117 [in Ukrainian].

Shakhovska, N. B., Kaminsky, R. M., & Vovk, O. B. (2018). *Artificial intelligence systems*, Publishing House of Lviv Polytechnic, 392, ISBN 966-941-197-6 [in Ukrainian].

Stepashko, V. S. (2010). Elements of the theory of inductive modeling. *Status and prospects of the development of informatics in Ukraine*, Naukova Dumka, 471–486 [in Ukrainian].

Stuart, J., Russell, & Peter, Norvig. (2015). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson, 3, ISBN 978-9332543515.

Tegmark, Max. (2019). *Life 3.0: the age of artificial intelligence*, Nash format, 432, ISBN 978-617-7682-99-7 [in Ukrainian].

Tkachenko, R. A., Kustra, N. A., Pavlyuk, O. M., & Polishchuk, V. V. (2014). *Means of artificial intelligence*, National Lviv University. polytechnic, View of Lviv. polytechnics, 204, ISBN 978-617-607-692-6 [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 11.03.24
Прорецензовано / Revised: 09.04.24
Схвалено до друку / Accepted: 24.04.24

Oleg MASHKOV, DSc (Engin.)
ORCID ID: 0000-0001-9227-4647
State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management
of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Volodymyr PRYSIAZHNIY, PhD (Engin.),
ORCID ID: 0000-0001-7825-9037
e-mail: V_Prysiashnyi@gmail.com
Senior Researcher National Center for Control and Testing of Space Vehicles, Kyiv, Ukraine

Tamara OVODENKO, PhD student
ORCID ID: 0009-0004-9389-9357
e-mail: Ovodenko_Tamara@gmail.com
State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management
of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, Kyiv, Ukraine

DIRECTIONS OF APPLICATION OF THE SYSTEMS APPROACH IN THE SYSTEM OF STATE MANAGEMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY USING AEROSPACE TECHNOLOGIES

Background. *The topic of evaluating the application of a systemic approach in the system of state management of environmental security with the use of aerospace technologies became especially relevant for Ukrainian society with the beginning of the war, since military actions caused primary and transboundary impacts on the environment and natural resources and caused risks for ecosystems, the economy of Ukraine and beyond. Therefore, there is a need to join the European and world experience of assessing and restoring disturbed ecosystems by means of a systematic analysis of processes and phenomena in the environment and the formation and implementation of management decisions. This approach implies the need to first carry out environmental monitoring in order to investigate the causes and consequences of the impact on ecosystems, and then to synthesize management solutions aimed at ensuring environmental safety. The modern level of development of science and technology provides an opportunity to apply artificial intelligence systems in environmental safety management systems of regions, enterprises and organizations using aerospace technologies.*

The purpose of the work is to determine the areas of application of the systemic approach in the system of state management of environmental security with the use of aerospace technologies and the application of artificial intelligence.

Methods. *The article uses a number of general scientific and special methods. Methods of system analysis, synthesis of management decisions were used to evaluate scientific research and legal acts regarding the formation and functioning of the environmental safety management system; methods of remote data processing, multispectral space images; methods of geospatial modeling, mathematical statistics.*

Results. *The peculiarities of building environmental safety management systems with the use of artificial intelligence and aerospace technologies are analyzed. Currently, the proposed approach of comprehensive assessment of disturbed ecosystems using artificial intelligence is developed and tested in different territories, different types of ecosystems and different data sources, in particular, a demonstration example is presented in this article as well. The use of an environmental safety management system with an intelligent subsystem for supporting the adoption of managerial environmental decisions will be quite useful for the post-war recovery of the territory of Ukraine, environmental protection, balanced environmental management and sustainable development. Further research should be focused on the application of intelligent support systems for making managerial environmental decisions to eliminate environmental risks and improve environmental safety. With the use of a systemic approach, environmental solutions in artificial intelligence systems are considered as a systematic combination of informational, organizational and operational solutions that relate to the following areas of environmental protection and natural resources: assessment and forecasting of the state of atmospheric air; assessment and forecasting of climate change; assessment and forecasting of the state of water resources; assessment and forecasting of the state of biological and landscape diversity, the development of the nature reserve fund and the formation of the national ecological network; assessment and forecasting of the state of land resources and soils; assessment and forecasting of the state of the subsoil; assessment and forecasting of the state of waste management; assessment of the state of objects that pose an increased environmental hazard; assessment and forecasting of the state of industry and its impact on the environment; assessment and forecasting of the state of agriculture and its impact on the environment; assessment and forecasting of the state of energy and its impact on the environment; assessment and forecasting of the state of transport and its impact on the environment; assessment and forecasting of the state of sustainable consumption and production; development of recommendations for state management in the field of environmental protection.*

Conclusions. *The development and implementation of state and regional (industry) environmental safety management systems is possible by applying a systemic approach using aerospace technologies. Such systems should perform the following functions: obtaining environmental information in real time, processing this information, predictive modeling of environmental processes, determining environmental risks (in space and time), providing proposals and recommendations for eliminating adverse environmental situations according to specified indicators (criteria for the effectiveness of the management system). The application in the environmental safety management system involves the implementation of environmental monitoring through a comprehensive remote assessment of the state of disturbed ecosystems and conducting a geospatial analysis of the relevant risks. The use of artificial intelligence is an important, flexible, convenient and useful tool for managing and planning the development of territories. Remote sensing methods using aerospace technologies are of particular importance in the context of large-scale hostilities currently taking place in Ukraine. In many cases, only remote methods using artificial intelligence are able to provide reliable predictive information about the state of ecosystems that are inaccessible or dangerous for ground-based research. The methodological basis of the study of the problem of the formation of the system of management of ecological safety of the environment and natural resources, objects of critical infrastructure should be an intellectual support system for making management ecological decisions, the development of special research methods aimed at obtaining objective and reliable results. Using a systemic approach, environmental solutions in artificial intelligence systems are considered as a systematic combination of informational, organizational and operational solutions related to the protection of the environment and natural resources.*

Keywords: *aerospace technologies, public administration, environment and natural resources, environmental safety, environmental monitoring, management system, systemic approach, artificial intelligence.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.