

Файфура В.В.,  
канд. екон. наук, доцент,  
доцент кафедри екології та охорони здоров'я,  
Співак І.Я.,  
канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних наук,  
Файфура В.В.,  
аспірант\* кафедри комп'ютерних наук,  
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ПОШИРЕННЯ ІНВАЗІЙНИХ ВИДІВ РОСЛИН В КОНТЕКСТІ ОЦІНЮВАННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ЗБИТКІВ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ ТА СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВУ

Faifura V.V.,  
cand.sc.(econ.), assoc. prof., associate professor  
at the department of ecology and health care,  
Spivak I.Ya.,  
cand.sc.(tech.), assoc. prof., associate professor  
at the department of computer sciences,  
Faifura V.V.,  
graduate student at the department of computer sciences,  
West Ukrainian National University, Ternopil

## IMPROVEMENT OF REMOTE SENSING METHODS OF THE SPREAD OF INVASIVE PLANT SPECIES IN THE CONTEXT OF ASSESSING POTENTIAL DAMAGE TO THE ENVIRONMENT AND AGRICULTURE

**Постановка проблеми.** Ефективний моніторинг та виявлення інвазійних видів рослин на полях із сільськогосподарськими культурами за допомогою зображень з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) має важливе значення для точного землеробства та управління навколишнім середовищем. Поширення шкідливих інвазійних видів рослин завдає значної економічної шкоди. Це проявляється, з одного боку, в необхідності проводити вартісні превентивні заходи щодо запобігання зменшенню біологічного різноманіття в природних екосистемах або ліквідувати наслідки неконтрольованого поширення таких видів на значних площах.

Інвазійні види рослин, на відміну від еволюційно сформованої аборигенної флори, хоч і чужорідні для певної території, але дуже часто чудово почувують себе на ній. Найпоширенішими в Україні є борщівник, золотарник канадський, клен американський, дуб червоний, амброзія, ваточник сирійський, маслинка вузьколиста. Вони дуже активно розповсюджують свою присутність на нових територіях, а, найголовніше, дуже швидко витісняють або заміщують місцеві рослинні угруповання. При чому відбувається часто моновидове заміщення, коли одна рослина займає значні площі на колись багатих на видовий склад територіях.

Типовий приклад такого заміщення – поширення золотарника канадського (*Solidago canadensis* L.) Він є типовим рослинним агресором – його корені продукують речовини, які пригнічують проростання насіння і розвиток інших рослин, суттєво погіршують аерацію ґрунту. Як наслідок – по сусідству з золотарником кількість рослин скорочується з 30–50 до 3–5 одиниць.

Значними є збитки від їх поширення в агросекторі. Швидке поширення, легка пристосовуваність до умов проростання, відсутність природних шкідників на фоні кліматичного потепління сприяє тому, що аграрії все частіше стикаються з масовим поширенням таких рослин у агрокультурі. А це вимагає дорогого обробітку сільськогосподарських рослин з метою попередження зменшення врожайності.

\* Науковий керівник: Співак І.Я. – канд. техн. наук, доцент.

Фахівці Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) оцінюють втрати сільськогосподарської продукції на рівні 34 % від потенційного їх врожаю, тобто у \$75 млрд. На втрати продукції від поширення бур'янів припадає близько \$20 млрд [9, с. 7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням поширення фітоінвазій приділяють значну увагу. Практичне вирішення цієї проблеми потребує удосконалення методів та підходів до моніторингу за цими процесами. Особливо це актуально в аграрному секторі, де інвазійні види рослин є злісними бур'янами, які завдають шкоди аграріям. Неабиякий науковий та практичний інтерес має вивчення видового складу інвазійних рослин, небезпечних як для природного фіторізноманіття, так і для сільського господарства [2–6; 14]. О. Абдулоєва та Н. Карпенко здійснили оцінку інвазійного потенціалу чужинних видів рослин в Україні та їх здатність до поширення й створення в порушених чи природних фітоценозах стійких місцевих популяцій [1]; В. Мар'юшкіна, В. Гриценко, Н. Дідик досліджували адаптивні стратегії інвазійних видів рослин [8]. Дослідженню схем і моделей фітоінвазій, подоланню географічних, екологічних та репродуктивних бар'єрів поширення присвятили свої роботи В. Протопопова, М. Шевера [12], Г. Чорна [13].

Паралельно удосконалюються та розвиваються методи дослідження адвентивних рослин [7; 10], в тому числі дистанційних із застосуванням комп'ютерної обробки даних. Проте, досі залишається невивченим коло проблем, пов'язаних із удосконаленням методів дистанційного розпізнавання поширення інвазійних видів рослин в контексті оцінювання потенційних збитків навколишньому середовищу та сільському господарству.

**Постановка завдання.** Особливо актуальними в останнє десятиліття стали застосовувані методи дистанційних досліджень. Як методи супутникового спостереження, так і застосування БПЛА дають змогу отримувати необхідну інформацію практично в реальному часі, а наявне програмне забезпечення дозволяє дуже швидко інтерпретувати одержану інформацію та приймати виважені рішення. Вузькоконтекстне опрацювання дистанційної інформації, у поєднанні з метеорологічними й агробіологічними даними, потенціалом мобільних застосунків суттєво підвищує ефективність прогнозування стану довкілля, в т. ч. динаміки його фітоінвазійних трансформацій. Удосконалення цих методів відбувається в напрямках покращення інформаційно-апаратного забезпечення спостережень, поліпшення їх організації, вдосконаленні методик обробки інформації й аналізу результатів дистанційних спостережень.

Мета нашого дослідження полягає в підвищенні ефективності методів дистанційного розпізнавання поширення інвазійних видів рослин задля оцінювання потенційних економічних збитків навколишньому середовищу та сільському господарству на основі застосування інтелектуальних систем спостереження. У цій статті представлено новий метод покращення (аугментації) надземних зображень полів сільськогосподарських культур, який має на меті покращити ефективність моделей виявлення інвазійних рослин шляхом створення різноманітних і реалістичних навчальних зразків та збільшення варіативності навчального набору даних для покращення продуктивності таких моделей.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На сьогодні в Україні налічують майже 830 видів чужорідних для наших екосистем рослин. Приблизно 100 видів рослин мають високу інвазійну спроможність, а ще біля 50 видів є небезпечно інвазійними. Вони спричиняють швидке зникнення багатьох місцевих видів дикої флори та фауни, завдають збитків аграрній, лісовій та іншим сферам господарства країни [11, с. 93].

З точки зору оцінки економічних збитків довкіллю і господарству, які супроводжують процеси поширення видів інвазійних адвентивних рослин, необхідно добре розуміти природу і моделі фітоекспансії таких видів рослин. З одного боку, найзрозумілішим є механізм просторових фітоінвазій, які проявляються у збільшенні кількості особин представника інвазійного виду, захопленні нових територій та витісненні аборигенних представників флори. Разом з тим, залишаються незрозумілими причини такого стрімкого поширення.

В. Протопопова та М. Шевера [12, с. 91] наводять результати досліджень В. Jackowiak стосовно динаміки поширення аборигенних видів рослин у біотопах за різного ступеня їх трансформованості. Було запропоновано серед процесів біологічної експансії виокремлювати два незалежні процеси: екологічну експансію як поширення аборигенного виду в інші типи біотопів (переважно антропогенні) у природному ареалі: при цьому рослини, завдяки своєму адаптаційному потенціалу, долають екологічні бар'єри поширення (рис. 1); хорологічну (територіальну) експансію як проникнення виду за межі природного ареалу (рис. 2).

Поширення інвазійних видів потребує комплексу ефективних заходів щодо контролю таких процесів. В іншому випадку вони стануть неконтрольованими зі значними екологічними та економічними наслідками. Особливо це стосується карантинних видів або таких, які завдають шкоду здоров'ю населення. Тому оптимізація механізму моніторингу і боротьби з шкідливими фітоінвазіями потребує постійного удосконалення й методів контролю. За останні роки спостереження за посівами з використанням безпілотників стало важливим інструментом точного землеробства, що дає змогу виявляти інвазійні види рослин на ранніх етапах їхнього розвитку [23]. Своєчасна їх ідентифікація має критичне значення для зменшення їх впливу на врожайність та довкілля. Однак методи виявлення,

засновані на глибокому навчанні, часто потребують великих масивів різноманітних тренувальних даних для побудови надійної моделі із високим рівнем точності розпізнавання [24]. Традиційні методи покращення зображень, такі як геометричні перетворення та маніпуляції із кольоровою гамою та інші, не завжди достатньо ефективні для підвищення загальної здатності моделей глибокого навчання до виявлення інвазійних рослин, особливо на фотографіях сільськогосподарських полів, отриманих за допомогою безпілотників [21; 22]. Разом з тим, значна кількість досліджень у галузі комп'ютерного зору та машинного навчання зосереджена на розробці контекстно орієнтованих методів доповнення зображень, в тому числі генеративних мереж (Generative Adversarial Networks – GAN) [19] та синтезу нових даних на основі вже існуючих, для створення більш різноманітних та реалістичних навчальних вибірок.

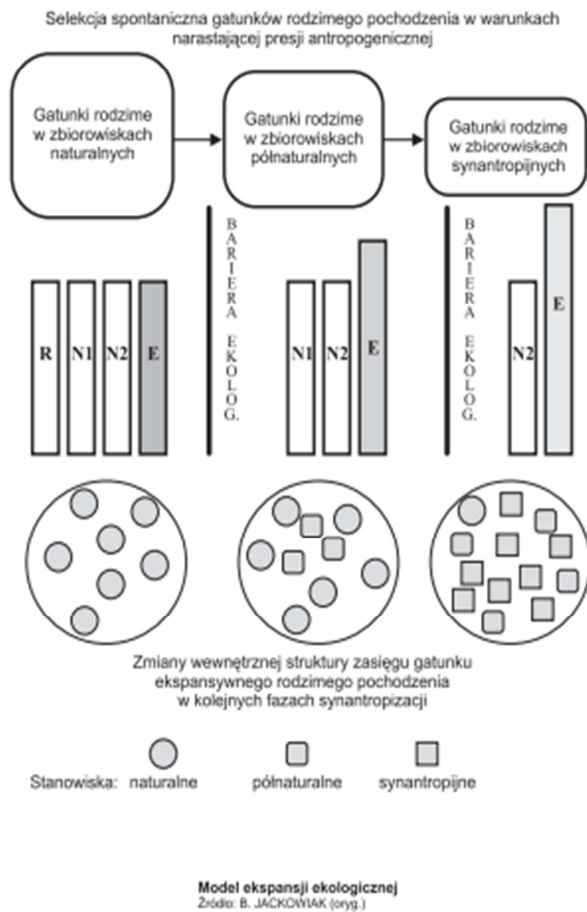


Рис. 1. Модель екологічної експансії (за В. Jackowiak, 1999)  
Джерело: [12, с. 92]

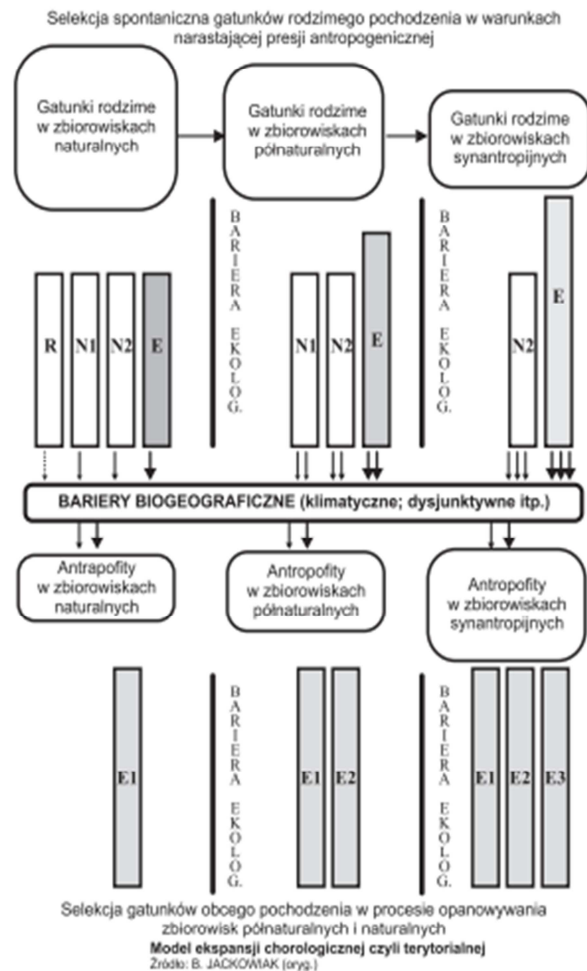


Рис. 2. Модель територіальної експансії (за В. Jackowiak, 1999)  
Джерело: [12, с. 92]

Оскільки характеристики зображень та завдання розпізнавання об'єктів мають суттєві відмінності, виникає необхідність розробки спеціально націленого на конкретну практичну область методу. Ми пропонуємо новий метод покращення (аугментації) надземних зображень полів сільськогосподарських культур, який має на меті покращити ефективність моделей виявлення інвазійних рослин – CAIPIS (від англ. «Context-Aware Invasive Plant Instance Synthesis»). За своїм змістом він є контекстно орієнтованим та поєднує фільтрацію кольорового спектру, інтервальну вибірку, випадковий відбір, просторові зміни та пуассонівське змішування для створення реалістичних екземплярів інвазійних рослин на знімках полів сільськогосподарських культур, зроблених за допомогою БПЛА.

Метод CAIPIS передбачає створення різноманітних та реалістичних навчальних наборів шляхом синтезу інвазійних рослин на зображеннях полів сільськогосподарських культур. Метод спрямований на підвищення ефективності моделей глибокого навчання для розпізнавання інвазійних рослин на знімках монокультурних полів. Це особливо актуально у випадку, якщо на поточний момент кількість

бур'янів на реальних полях незначна та недостатня для навчання моделі, але водночас їх швидке зростання може призвести до значного забур'янення протягом декількох днів.

Загальний алгоритм дій перед використанням методу покращення зображень буде наступним:

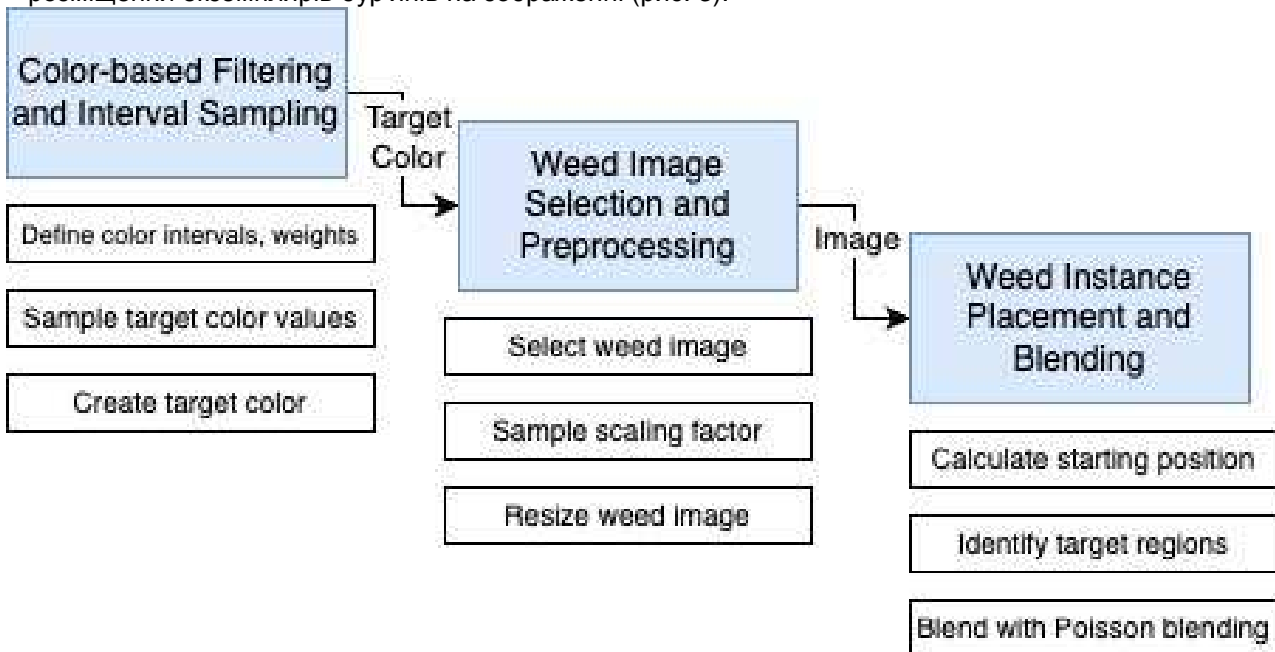
– оператор здійснює попередній (частковий або повний) політ БПЛА для отримання невеликого набору зображень, що містять інвазійні рослини, притаманні конкретній ділянці поля, клімату, порі року тощо;

– оператор ідентифікує та позначає інвазійні рослини на попередніх знімках і завантажує їх у систему;

– оператор здійснює ще один політ, на цей раз захоплюючи усе поле для отримання повного набору зображень полів та вирощуваних сільськогосподарських культур для подальшого виявлення ділянок, де локалізуються небажані інвазійні види.

Одразу після отримання часткового набору даних відбувається покращення отриманого набору шляхом синтезу ідентифікованих інвазійних видів рослин з існуючою вибіркою зображень, які таких видів не містять.

Метод покращення набору даних складається із трьох етапів: – фільтрації згідно заданого кольору та інтервальної вибірки; – виділення та попередньої обробки зображень бур'янів; – розміщення екземплярів бур'янів на зображенні (рис. 3).



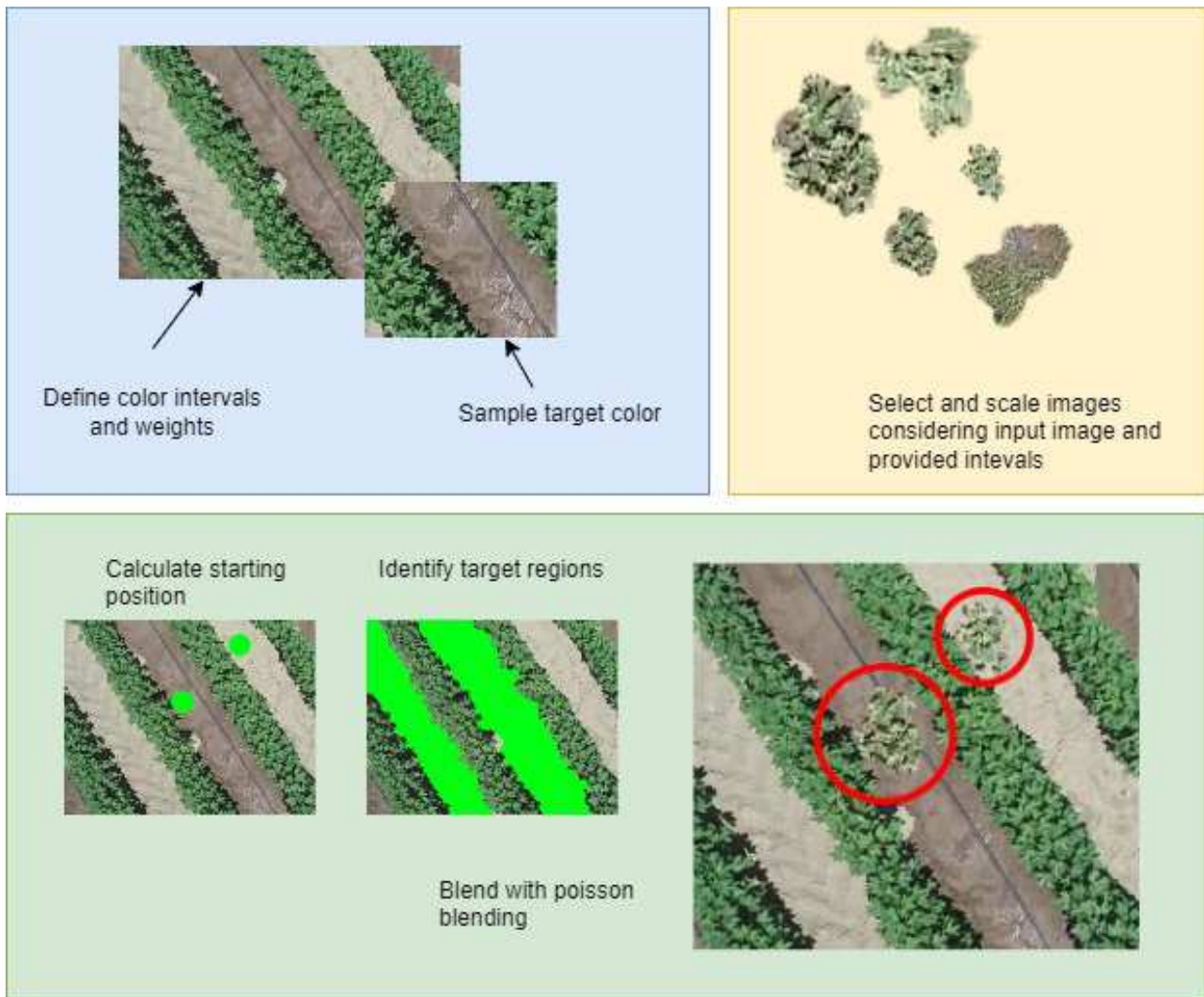
**Рис. 3. Послідовність застосування методу покращення набору даних**

*Джерело: виконано авторами*

**Етап 1: Фільтрація за кольором та інтервальна вибірка.** На цьому етапі ми поєднуємо інтервальну вибірку з колірною фільтрацією та знаходимо відповідні кольори із заданого інтервалу на зображенні поля для подальшого синтезу зображення. Процес включає визначення набору колірних інтервалів і відповідних ваг для кожного кольорового каналу (червоного, зеленого або синього), для вибірки цільових значень кольору із заздалегідь визначених інтервалів і ваг [20]. Надалі за допомогою заданого інтервалу визначено місце між рядами культур для розміщення штучного бур'яну.

**Етап 2: Вибір та попередня обробка зображень бур'янів.** На цьому етапі ми відбираємо задану кількість зображень реальних бур'янів з тих, що були розпізнані оператором. Для кожного обраного зображення бур'яну встановлюється коефіцієнт масштабування зі спеціально визначеного діапазону. Таким чином зміна розміру бур'яну відбувається відповідно до параметрів вхідного зображення та зон, придатних для його розташування.

**Етап 3: Розміщення та змішування екземплярів бур'янів.** Для кожного модифікованого зображення бур'яну обраховується випадкова стартова позиція в межах вихідного зображення та відповідного регіону. Фільтрація за кольором застосовується для виявлення ділянок на вихідному зображенні, де присутній цільовий колір. Надалі адаптоване зображення бур'яну змішується з вихідним зображенням у визначеній позиції, використовуючи пуассонівське змішування з урахуванням цільового кольору [18]. Такий підхід гарантує плавне накладання синтезованих екземплярів інвазійних рослин на зображення сільськогосподарських полів, що сприяє створенню реалістичного набору зображень, що й показано на рисунку 4.



**Рис. 4. Обробка зображення і розміщення екземпляра бур'яну**

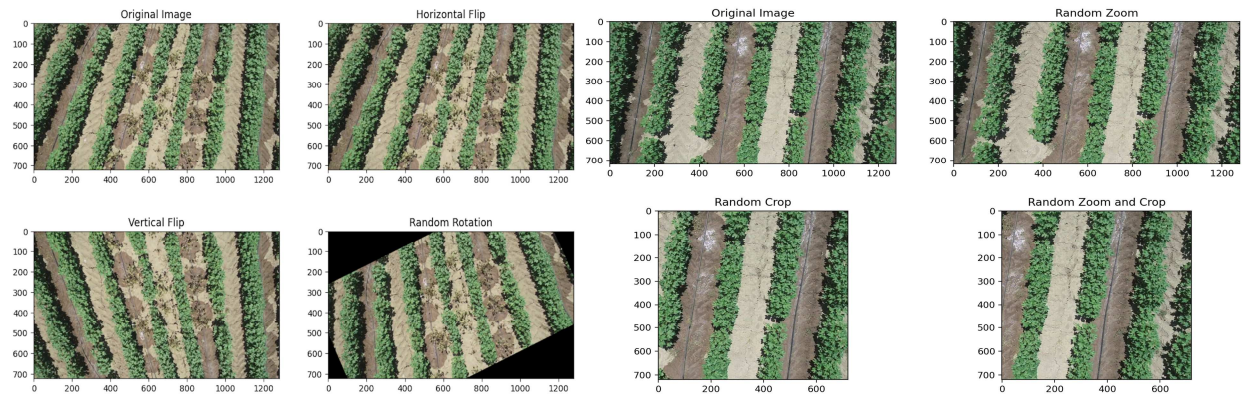
*Джерело: виконано авторами*

Для оцінки ефективності нашого методу ми провели серію експериментів, використовуючи набір зображень сільськогосподарських полів, отриманих з БПЛА, які містили різні інвазійні види рослин. Під час тестування було використано загальнодоступний набір аерофотознімків із БПЛА "CoFly-WeedDB", що містить зображення полів сільськогосподарських культур та декілька видів бур'янів між рядами посівів. Набір даних було поділено на навчальний та тестовий. Для виявлення бур'янів ми використали згорткову нейронну мережу (CNN) на основі архітектури ResNet [15].

Навчання відбувалося із використанням одних і тих самих вхідних даних, проте у першому випадку було використано традиційні методи покращення зображень, а у другому – запропонований CAIPIS метод.

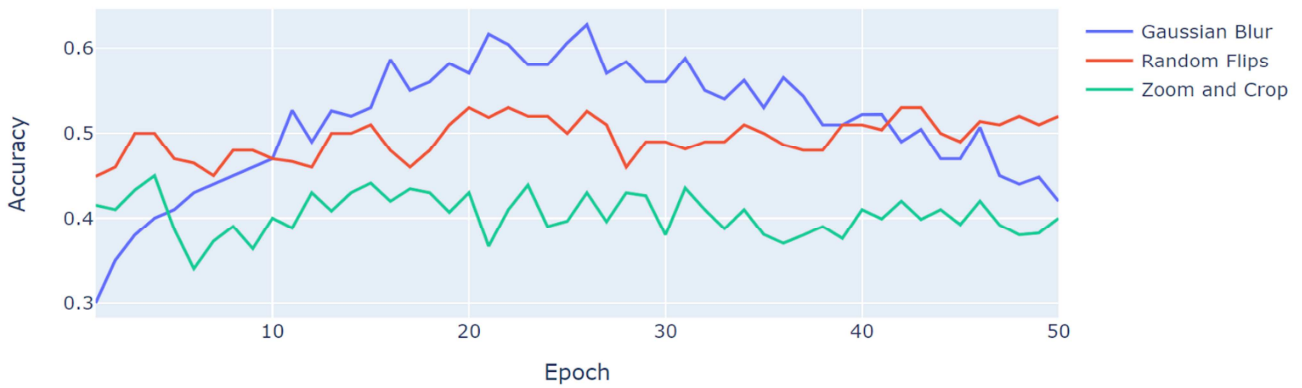
Зокрема, серед традиційних методів аугментації зображень були використані [17]: – геометричні трансформації (перевороти по горизонталі та вертикалі); – випадкові повороти та зміщення; – масштабування та обрізання; – зміна кольору та гаусівське розмиття. Результати обробки зображень показані на рисунку 5.

Порівнюючи результати, метод гаусівського розмиття виявився найбільш ефективним для даного типу зображень. Проте, незважаючи на спостережене поліпшення, сама модель продемонструвала ознаки надлишкового навчання. Для запобігання цьому у подальших експериментах було змінено кількість циклів навчання та використано метод ранньої зупинки навчального процесу. Детальне порівняння наведено на рисунку 6.



**Рис. 5.** Приклад зображень після застосування традиційних методів аугментації

Джерело: виконано авторами



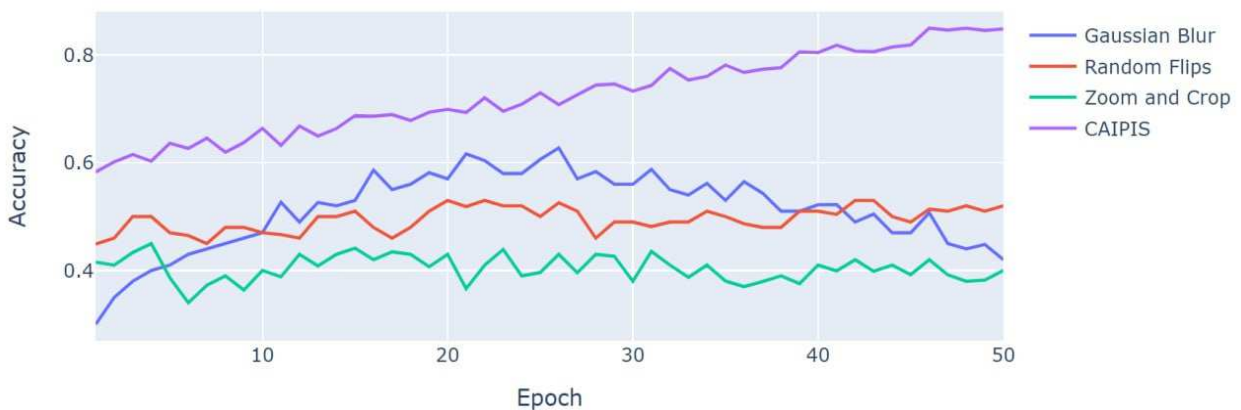
**Рис. 6.** Точність моделі із застосуванням традиційних методів аугментації

Джерело: виконано авторами

Незважаючи на покращення, ці зміни не призвели до значного збільшення варіативності початкового набору даних та точності виявлення. Схоже, причиною цього є характеристики самих зображень. Таким чином, початковий набір даних вже містить деякі варіації традиційних методів аугментації зображень, наприклад, зміна висоти БПЛА частково замінює метод збільшення та масштабування, а фіксований кут зйомки мінімізує користь від використання геометричних перетворень [16].

Наступним кроком ми використали запропонований метод CAIPIS з метою збільшення варіативності набору даних, а потім порівняли результати з моделлю, навченою із використанням зображень змінених традиційними методами. Результати порівняння CAIPIS із традиційним доповненням зображення відбиті на рисунку 7.

#### Validation Accuracy with Augmentation Techniques



**Рис. 7.** Порівняння CAIPIS із традиційним доповненням зображення

Джерело: виконано авторами

Результати дослідження показали, що модель глибокого навчання, навчена на основі покращеного за допомогою CAIPIS набору даних, досягла значно вищих показників у виявленні інвазійних рослин порівняно з моделлю, навченою використовувати традиційні методи аугментації зображень. Метод CAIPIS створює більш різноманітні та реалістичні навчальні вибірки, що сприяє поліпшенню узагальнюючих здібностей моделі глибокого навчання при виявленні інвазійних рослин на аерофотознімках сільськогосподарських полів, отриманих за допомогою БПЛА.

**Висновки з проведеного дослідження.** Отримані результати полягають у підвищенні ефективності методів дистанційного розпізнавання поширення інвазійних видів рослин задля оцінювання потенційних економічних збитків навколишньому середовищу та сільському господарству при практичному використанні інтелектуальних систем спостереження. Запропонована модель досягла значно вищих показників у виявленні інвазійних видів рослин порівняно з моделлю, яка ґрунтується на застосуванні традиційних методів аугментації зображень і є доволі ефективною в умовах обмеженого набору навчальних даних. Завдяки збереженню контексту та параметрів вихідного зображення цей метод допомагає підвищити надійність та узагальненість моделей глибокого навчання для виявлення інвазійних рослин. Застосування розробленої моделі та змінність вхідних зображень та використання екземплярів інвазійних рослин, притаманних конкретному полю, клімату та сезону, дозволяє уникнути потенційних проблем із нестабільним навчанням та нереалістичним набором даних, що можуть виникати при використанні генеративних моделей для покращення зображень.

### Література

1. Абдулоєва О. С., Карпенко Н. І. Обґрунтування критеріїв інвазійного потенціалу чужинних видів рослин в Україні. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2012. Том 8. № 3. С. 252-256.
2. Абдулоєва О., Карпенко Н., Сенчило О. Обґрунтування "чорного списку" загрозливих для біорізноманіття інвазійних видів рослин України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Біологія*. 2008. № 52-53. С. 108-110.
3. Адамів С. С. Адвентивні види рослин на Тернопільщині. *Альманах науки*. 2021. № 2(47), квітень. С. 52-55.
4. Бурда Р. І. Фітоінвазії в агроєкосистемах. // Синантропізація рослинного покриву України: тези наук. доп. (Переяслав-Хмельницький, 27–28 квітня. 2006 р.). С. 34-37.
5. Бурда Р. І., Пашкевич Н. А., Бойко Г. В., Фіцайло Т. В. Чужорідні види охоронних флор Лісостепу України. Київ : Наукова думка, 2015. 116 с.
6. Зав'ялова Л. В. Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду України. *Біологічні системи*. 2017. Т. 9. Вип. 1. С. 87-107.
7. Зав'ялова Л. Огляд методів дослідження адвентивних рослин. *GEO&BIO*. 2019. Vol. 18. P. 64-76.
8. Мар'юшкіна В. Я., Гриценко В. В., Дідик Н. П. Порівняльна адаптивна стратегія інвазійних та індигенних видів. *Український фітоценологічний збірник*. 2006. Сер. С, вип. 24. С. 103-109.
9. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур : підручник / Покозій Й. Т., Писаренко В. М., Довгань С. В. та ін. ; за ред. Й. Т. Покозія. Київ : Аграрна освіта, 2010. 223 с.
10. Мосякін А. С. Сучасні методи біологічного контролю (біологічного регулювання) активності інвазійних рослин: приклади й перспективи застосування. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2012. Том 3(10). № 1. С. 93-109.
11. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 30.01.2023).
12. Протопопова В. В., Шевера М. В. Фітоінвазії. II. Аналіз основних класифікацій, схем і моделей. *Промышленная ботаника*. 2012. Вип. 12. С. 88-95.
13. Чорна Г. А. Репродуктивна біологія інвазійних видів вищої водної флори. URL: [https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/6789/3012/1/chorna\\_%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%96%D0%B2.pdf](https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/6789/3012/1/chorna_%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%96%D0%B2.pdf) (дата звернення: 30.01.2023).
14. Шувар І. А., Гудзь В. П., Шувар А. І. Особливо небезпечні рослини України : навч. посіб. / За ред. І. А. Шуvara. Київ : «Центр учбової літератури», 2013. 192 с.
15. Hamida Ben A., Benoit A., Lambert P. 3-D Deep Learning Approach for Remote Sensing Image Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2018. №56(8). P. 4420-4434.
16. Buslaev A., Parinov A., Khvedchenya E. Albumentations: Fast and flexible image augmentations. *Information*. 2018. №11(2). P. 125.
17. Cao C., Zhou F., Dai Y. A Survey of Mix-based Data Augmentation: Taxonomy, Methods, Applications, and Explainability. *ArXiv*, 2022.
18. Dwibedi D., Misra I., Hebert M. Cut, Paste and Learn: Surprisingly Easy Synthesis for Instance Detection. *ArXiv*. 2017.

19. Hao X., Liu L., Yang R. A Review of Data Augmentation Methods of Remote Sensing Image Target Recognition. *Remote Sensing*. 2023. №15(3). P. 827.
20. Lameski P., Zdravevski E., Trajkovik V. Weed Detection Dataset with RGB Images Taken Under Variable Light Conditions. In *Smart Innovations in Communication and Computational Sciences*. 2017. №9. P. 112-119.
21. Sankaran S., Khot L. R., Espinoza C. Z. Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. *European Journal of Agronomy*. 2015. № 70. P. 112-123.
22. Shorten C., Khoshgoftaar T. A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. *Journal of Big Data*. 2019. №6(1). P. 1-48.
23. Yang Z., Fan Z., Niu C. Development of Invasive Plant Recognition System Based on Deep Learning. *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*. 2023. №38(6). P. 39–53.
24. Zhu X. X., Tuia D., Mou L. Deep learning in remote sensing: A review. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 2017. №5(4) P. 8-36.

## References

1. Abduloieva, O.S. and Karpenko, N.I. (2012), "Justification of criteria for the invasive potential of alien plant species in Ukraine", *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal*, Vol. 8, no. 3, pp. 252-256.
2. Abduloieva, O., Karpenko, N. and Senchylo, O. (2008), "Justification of the "black list" of invasive plant species of Ukraine threatening biodiversity", *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya: Biologiya*, no. 52-53, pp. 108-110.
3. Adamiv, S.S. (2021), "Adventitious plant species in Ternopil region", *Almanakh nauky*, no. 2(47), pp. 52-55.
4. Burda, R.I. (2006), "Phytoinvasions in agroecosystems. Synanthropization of vegetation cover of Ukraine", *Synantropizatsiia roslynnoho pokryvu Ukrainy*, pp. 34-37.
5. Burda, R.I., Pashkevych, N.A., Boiko, H.V. and Fitsailo, T.V. (2015), *Chuzhoridni vydy okhoronnykh flor Lisostepu Ukrainy* [Alien species of protective flora of the Forest Steppe of Ukraine], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine, 116 p.
6. Zavalova, L.V. (2017), "Types of invasive plants dangerous for the natural phytodiversity of the objects of the nature reserve fund of Ukraine", *Biologichni systemy*, Vol. 9, Iss. 1, pp. 87-107.
7. Zavalova, L. (2019), "Review of adventitious plant research methods", *GEO&BIO*, Vol. 18, pp. 64-76.
8. Mariushkina, V.Ya., Hrytsenko V.V. and Didyk, N.P. (2006), "Comparative adaptive strategy of invasive and indigenous species", *Ukrainskyi fitotsenolohichnyi zbirnyk*, Ser. S, Iss. 24, pp. 103-109.
9. Pokozii, Y.T. (Ed.), Pysarenko, V.M., Dovhan, S.V. et al. (2010), *Monitorynh shkidnykiv silskohospodarskykh kultur* [Monitoring of pests of agricultural crops], textbook, Ahrarna osvita, Kyiv, Ukraine, 223 p.
10. Mosiakin, A.S. (2012), "Modern methods of biological control (biological regulation) of the activity of invasive plants: examples and prospects of application", *Naukovi osnovy zberezhennia biotychnoi riznomanitnosti*, Vol. 3(10), no. 1, pp. 93-109.
11. "National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2021", available at: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (access date January 30, 2023).
12. Protopopova, V. and Shevera, M. (2012), "Phytoinvasions. II. Analysis of the main classifications, schemes and models", *Promyshlennaia botanika*, Iss. 12, pp. 88-95.
13. Chorna, H.A. "Reproductive biology of invasive species of higher aquatic flora", available at: [https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/6789/3012/1/chorna\\_%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%96%D0%B2.pdf](https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/6789/3012/1/chorna_%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%96%D0%B2.pdf) (access date January 30, 2023).
14. Shuvar, I.A. (Ed.), Hudz, V.P. and Shuvar, A.I. (2013), *Osoblyvo nebezpechni roslyny Ukrainy* [Especially dangerous plants of Ukraine], tutorial, "Tsentri uchbovoi literatury", Kyiv, Ukraine, 192 p.
15. Hamida, Ben A., Benoit, A. and Lambert, P. (2018), "3-D Deep Learning Approach for Remote Sensing Image Classification". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, no.56(8), pp. 4420-4434.
16. Buslaev, A., Parinov, A. and Khvedchenya, E. (2018), "Albumentations: Fast and flexible image augmentations", *Information*, no.11(2), pp. 125.
17. Cao, C., Zhou, F. and Dai, Y. (2022), "A Survey of Mix-based Data Augmentation: Taxonomy, Methods, Applications, and Explainability", *ArXiv*.
18. Dwibedi, D., Misra, I. and Hebert, M. (2017), "Cut, Paste and Learn: Surprisingly Easy Synthesis for Instance Detection", *ArXiv*.
19. Hao, X., Liu, L. and Yang, R. (2023), "A Review of Data Augmentation Methods of Remote Sensing Image Target Recognition", *Remote Sensing*, no.15(3), pp.827.



20. Lameski, P., Zdravevski, E. and Trajkovic, V. (2017), "Weed Detection Dataset with RGB Images Taken Under Variable Light Conditions", *In Smart Innovations in Communication and Computational Sciences*, no. 9, pp. 112-119.
21. Sankaran, S., Khot, L. and Espinoza, C. (2015), "Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review", *European Journal of Agronomy*, no. 70, pp. 112-123.
22. Shorten, C. and Khoshgoftaar, T. (2019), "A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning", *Journal of Big Data*, no. 6(1), pp. 1-48.
23. Yang, Z., Fan, Z. and Niu, C. (2023), "Development of Invasive Plant Recognition System Based on Deep Learning", *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, no. 38(6), pp. 39-53.
24. Zhu, X., Tuia, D. and Mou, L. (2017), "Deep learning in remote sensing: A review", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, no. 5(4), pp. 8-36.