

СУПУТНИКОВИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ РЕСУРС — СУЧАСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ АГРОСФЕРИ УКРАЇНИ

О.Г. Тараріко

доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН
Інститут агроєкології і природокористування НААН (Київ, Україна)
e-mail: tarariko@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5132-0157>

О.С. Дем'янюк

доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН
Інститут агроєкології і природокористування НААН (Київ, Україна)
e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4134-9853>

Т.В. Ільєнко

кандидат сільськогосподарських наук
Інститут агроєкології і природокористування НААН (Київ, Україна)
e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5406-5449>

М.О. Солоха

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
ННЦ “Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського” НААН (Харків, Україна)
e-mail: solomax@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1860-0819>

П.В. Лиховид

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН
e-mail: pavel.likhovid@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0314-7644>

Агроєкосистеми України зазнають посиленого впливу кліматичних змін і воєнних дій, що призводить до зростання ризиків деградації земель, опустелювання та виснаження ґрунтів у всіх природно-кліматичних зонах країни. За цих умов ключового значення набуває система агроєкологічного моніторингу, невід'ємною складовою якої є супутникові спостереження, що забезпечують як ретроспективний аналіз, так і оперативне відстеження просторово-часового поширення негативних явищ. Це створює підґрунтя для вдосконалення інформаційного забезпечення управління природними та виробничими процесами у сфері сільського господарства та природокористування. У статті за матеріалами звітної доповіді члена-кореспондента НААН О.С. Дем'янюк представлено результати досліджень, виконаних у межах програми Національної академії аграрних наук “Агрокосмос” (“Супутниковий агроєкологічний моніторинг, управління агроресурсами та прогнозування впливу змін клімату на продуктивність агроєкосистем”), спрямованої на розробку науково-методичного забезпечення використання даних супутникового моніторингу для вирішення екологічних проблем. Обґрунтовано та визначено супутникові індикатори ризиків впливу змін клімату і воєнних дій на агроєкосистеми. За ретроспективним аналізом динаміки цих індикаторів за 40-річний період було встановлено чіткі тенденції кліматичних змін та їхній вплив на агроєкосистеми в східній частині Лісостепу, а також проведено їх апробацію для моніторингу негативних явищ в агроландшафтах унаслідок підриву Каховської ГЕС. Встановлено ідентифікатори впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив за супутниковою інформацією; за ними створено відповідні картосхеми на базі ГІС з оцінкою ступеня впливу на ґрунтові ресурси Харківської області. Для вдосконалення інформаційного забезпечення агроєкологічного моніторингу, зокрема щодо проблеми поширення процесів опустелювання та деградації земель, розроблено структуру бази даних відповідного інформаційно-аналітичного вебсайту. За опублікованими джерелами та проведеними дослідженнями доведено високу перспективність використання даних аерокосмічного моніторингу агроєкосистем для ідентифікації посівів сільськогосподарських культур, їх класифікації та картування, зокрема за вегетаційним індексом NDVI, а також для виконання сучасного динамічного агроєкологічного районування сільськогосподарських земель за ступенем придатності до вирощування різних сільськогосподарських культур з огляду на біологічні вимоги.

Ключові слова: агроєкосистема, дистанційне зондування, база даних, зміни клімату, ідентифікатори впливу воєнних дій, агроєкологічне районування, картування.

ВСТУП

В умовах інтенсивного антропогенного навантаження на агро- та екосистеми актуальним для України є раціональне й безпечне використання природних ресурсів, особливо в контексті змін клімату та наслідків військової агресії. У багатьох країнах активно розвиваються наукові й технологічні підходи до використання в системі супутникового моніторингу даних для оцінювання впливу господарської діяльності і кліматичних змін на сільське господарство та екосистеми, охоплюючи процеси опустелювання, деградації земель і втрату біорізноманіття.

З метою формування цілісної та послідовної державної політики у сфері змін клімату з урахуванням повоєнної відбудови України розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2024 р. № 483-р. схвалено Стратегію формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року [1]. Наголошено на відсутності системного підходу до створення наукового підґрунтя для формування та реалізації державної політики у сфері змін клімату, важливою частиною якої є їх моніторинг і вплив на аграрне виробництво та продовольчу безпеку. В Операційному плані заходів із реалізації у 2024–2026 рр. Стратегії передбачено проведення оцінки ризиків і вразливості сільського господарства до змін клімату (Ціль 3, п. 22) [2]. Але вирішення цього питання потребує подальшого вдосконалення системи агроєкологічного моніторингу з використанням сучасного інформаційного потенціалу супутникових даних. Актуальним у цьому контексті є також виконання розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2024 р. “Про Стратегію сільського господарства та сільських територій на період до 2030 р. у рамках спільної політики ЄС”, що також вимагає більш досконалого інформаційного забезпечення.

Ключове значення в цьому відіграє вдосконалення інформаційного забезпечення управління природними й виробничими процесами, зокрема, у сфері сільського господарства та природокористування. Оперативне отримання просторової інформації про стан аграрного виробництва на конкретній території в певний період часу є складним завданням для традиційних наземних методів і потребує використання сучасних супутникових технологій. В умовах кліматичних змін і посилення інтенсифікації аграрного виробництва зростає значення ретроспективної та оперативної супутникової інформації як невід’ємного елемента системи агроєкологічного моніторингу. Нині важко уявити оцінювання впливу змін клімату на сільськогосподарську діяльність та природне середовище загалом без використання супутникових даних.

Це своєю чергою вимагає кадрового забезпечення, вдосконалення науково-методичних основ отримання, обробки та використання супутникових даних, а також забезпечення їх своєчасного доступу до виробничих і управлінських структур різних рівнів.

Для вдосконалення науково-методичних засад інформаційного забезпечення галузі сільського господарства та системи агроєкологічного моніторингу, які є необхідними компонентами безпечного природокористування, досягнення кліматичної нейтральності агроєкосистем, нейтрального рівня деградації земель, а також більш широкого залучення супутникових даних в аграрне виробництво, в Національній академії аграрних наук України виконуються фундаментальні та прикладні дослідження в межах Програми наукових досліджень 07 “Супутниковий агроєкологічний моніторинг, управління агресурсами та прогнозування впливу змін клімату на продуктивність агроєкосистем” (“Агрокосмос”). У виконанні програми беруть участь три наукові установи НААН: Інститут агроєкології і природокористування (головна наукова установа), Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства та ННЦ “Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського”. Наукові дослідження виконують 24 особи, зокрема 11 докторів наук і 8 кандидатів наук.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Зміна клімату є однією з найгостріших глобальних проблем планети Земля. Вона спричиняє перебудову глобальних процесів переносу тепла й вологи на всіх континентах, призводячи до різкого зростання кількості кризових явищ. Тому актуальним є оцінювання впливу теперішніх і прогнозованих кліматичних змін на сільськогосподарське виробництво та природні екосистеми, що дасть змогу вчасно реагувати й вживати належні адаптаційні заходи. Моніторинг впливу кліматичних змін в агросфері складно здійснювати виключно традиційними наземними методами, оскільки вони не дають змоги отримувати оперативну просторову інформацію. Для всеохоплюючого спостереження необхідно залучати сучасні технології дистанційного зондування. Досягнення космічної науки та техніки принесли нові можливості для такого моніторингу, які дозволяють отримувати оперативну просторову інформацію в часі та просторі на різних рівнях — від локального до глобального.

Наразі кілька десятків супутникових систем спостереження за Землею з високим просторовим розрізненням їхніх даних здійснюють

космічну зйомку в навколоземному просторі в різних спектральних діапазонах. Їх значна кількість і, відповідно, обсяг інформації дають змогу отримувати дані фактично на безперервній основі. Тому актуальним є використання цього інформаційного ресурсу для визначення темпів змін клімату та їхнього впливу на агро-екосистеми, процеси опустелювання та прояв кризових явищ із метою прийняття обґрунтованих управлінських рішень, корегування агротехнологій та природокористування. Нині вже багато років реалізуються Програма глобального спостереження Землі (*Global Earth Observation System of Systems*, GEOSS) [3] та Європейська програма глобального моніторингу довкілля і безпеки (*Global Monitoring for Environment and Security*, GMES), яка нині отримала назву Copernicus [4].

В сучасних умовах, окрім змін клімату та їхнього впливу на агресурси, на території України на ситуацію впливає також потужний чинник — наслідки воєнних дій, під час яких спостерігається масштабний негативний вплив на аграрне виробництво не тільки внаслідок пошкодження інфраструктури, а й через знищення або пошкодження ґрунтів [5–8]. Оскільки через бойові дії доступ для проведення наземної оцінки є досить небезпечним завданням, актуальним стало залучення сучасних засобів ДЗЗ/ГІС, які є невід'ємною складовою моніторингових наукових досліджень. Важливим у цьому контексті є використання супутникових індикаторів для оцінки впливу змін клімату на агроекосистеми, а також наслідків ведення воєнних дій на агресурси та розвиток деградаційних процесів, зокрема на території інтенсивного ведення аграрного виробництва в зоні Лісостепу.

Таким чином, наявна велика кількість даних різних супутникових систем дозволяє отримувати інформацію про біосферні та кліматичні процеси практично на безперервній основі. Дистанційне спостереження за Землею з космосу розвивається дуже динамічно, і в найближчі роки та навіть місяці планується запуск нових супутникових систем, зокрема систем Sentinel програми Copernicus Європейського космічного агентства [9]. Copernicus — це програма Європейського Союзу зі спостереження за Землею, яка розглядає нашу планету та її навколишнє середовище на користь усіх європейських громадян. Сучасний розвиток космічних технологій вимагає розробки нових методів і програм. Новітня супутникова програма Європейського космічного агентства Copernicus відкрила нові можливості в застосуванні даних ДЗЗ для моніторингу трансформації агроекосистем в умовах змін клімату. Місія Copernicus має шість

головних тематичних напрямів: земля, море, атмосфера, кліматичні зміни, надзвичайні ситуації та безпека [10]. Важливим у цьому контексті є те, що здебільшого ця інформація є загальнодоступною та безкоштовною і може використовуватися для наукових моніторингових досліджень, виробничої діяльності, управління та оцінювання впливу змін клімату на агресурси та сільське господарство.

Показники впливу змін клімату на агресурси було систематизовано в такі основні групи індикаторів, які можуть бути визначені за допомогою інформації з супутників:

- *кліматичні показники*: температура, опади, запас вологи в ґрунті, зокрема спектральні індекси температурних умов, умов зволоження, водний індекс;
- *показники стану рослинності*: вегетаційні індекси, проективне покриття, біомаса, площа листової поверхні;
- *показники деградації земель*: площинна та яружна ерозія, вміст гумусу, ознаки опустелювання, засолення зрошуваних земель тощо;
- *структура та агроекологічний стан агроландшафтів*, зокрема індекси ландшафтного різноманіття, зміна наземного покриття. Одним з основних індикаторів є LULCC (*Land Use / Land Cover Changes* — зміни землекористування / земного покриття) (рис. 1).

На прикладі зони Лісостепу показано, що для моніторингу кліматичних змін і впливу воєнних дій на агроекосистеми застосування сучасних технологій ДЗЗ та геоінформаційних систем є важливим інструментом удосконалення управління агресурсами та адаптації агроекосистем до змін клімату, покращення інформаційно-консультаційної підтримки аграрного виробництва на різних рівнях управління, що сприятиме сталому розвитку агроекосистем і сільської економіки. Зокрема, за здійсненим ретроспективним аналізом динаміки цих індикаторів за 40-річний період встановлено чіткі тенденції кліматичних змін та їхній вплив на агроекосистеми в Східному Лісостепу на прикладі Харківської і Полтавської областей. Спостерігається досить стрімке зростання температури наземного покриття за вегетаційний період останніх 20 років порівняно з попереднім. Якщо порівняти температуру вегетаційного періоду першого десятиріччя з останнім, четвертим, то побачимо, що вона підвищилася в Східному Лісостепу з 17,5–17,8 до 20,4–21,0°C, тобто на 2,9–3,2°C (рис. 2). Якщо потепління буде продовжуватися таким же темпом, то в наступному десятиріччі можна очікувати подальше стрімке підвищення температури вегетаційного періоду, що потребуватиме вже зараз розробки заходів



Рис. 1. Супутникові індикатори впливу змін і наслідків воєнних дій на агресурси Лісостепу
Джерело: розроблено авторами.

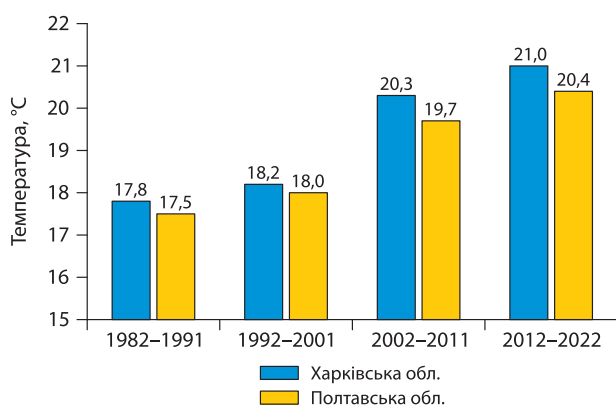


Рис. 2. Динаміка температури вегетаційного періоду по десятирічних циклах на території Полтавської та Харківської областей, °C. Середня температура наземного покриття за вегетаційний період по десятиріччях

Джерело: побудовано авторами за супутниковими даними NOAA's National Environmental Satellite Data Information Services.

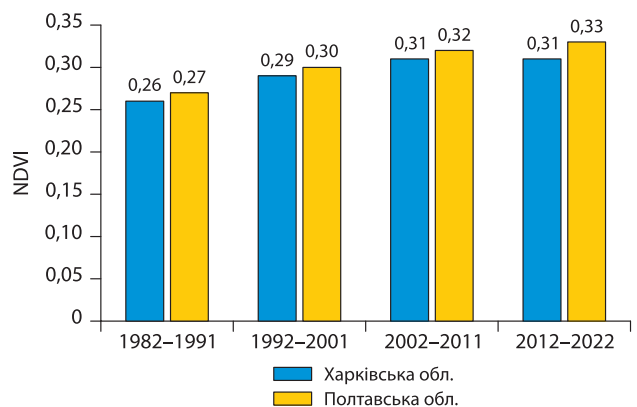


Рис. 3. Динаміка NDVI вегетаційного періоду на території Харківської та Полтавської областей по десятирічних циклах

Джерело: побудовано авторами за супутниковими даними NOAA's National Environmental Satellite Data Information Services (<http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VN/>).

з адаптації сільського господарства регіону до такого екстремального потепління.

Як дистанційний індикатор реакції рослинного покриття на кліматичні зміни було використано нормалізований різницевий вегетаційний індекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) [11], який показує, що загалом потепління протягом 40 років позитивно впливало на стан рослинності за NDVI, темп якого останнім часом дещо уповільнився (рис. 3).

Одним із найважливіших чинників впливу зміни клімату на агресурси є кількість опадів у середньому за рік та їх інтенсивність. Загалом,

спостерігається тренд зниження середньомісячної кількості опадів, однак у Харківській і Полтавській областях — зростання їх кількості за останні 3 роки (рис. 4).

Значне потепління вегетаційного періоду внаслідок змін клімату сприяло розширенню площ під такими просапними культурами, як кукурудза та соняшник, які можуть ефективно використовувати додатковий тепловий ресурс, а також підвищенню врожайності зернових (рис. 5).

Встановлено, що при визначенні впливу змін клімату на агроєкосистеми ефективним

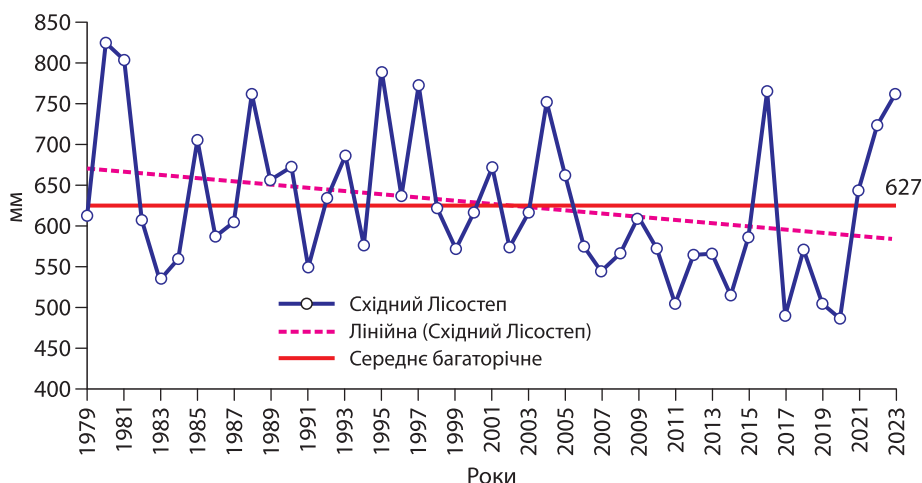


Рис. 4. Динаміка середньорічної кількості опадів протягом 1979–2023 рр., мм

Джерело: побудовано авторами за даними ERA5 ECMWF/Copernicus Climate Change Service (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_MONTHLY#description).

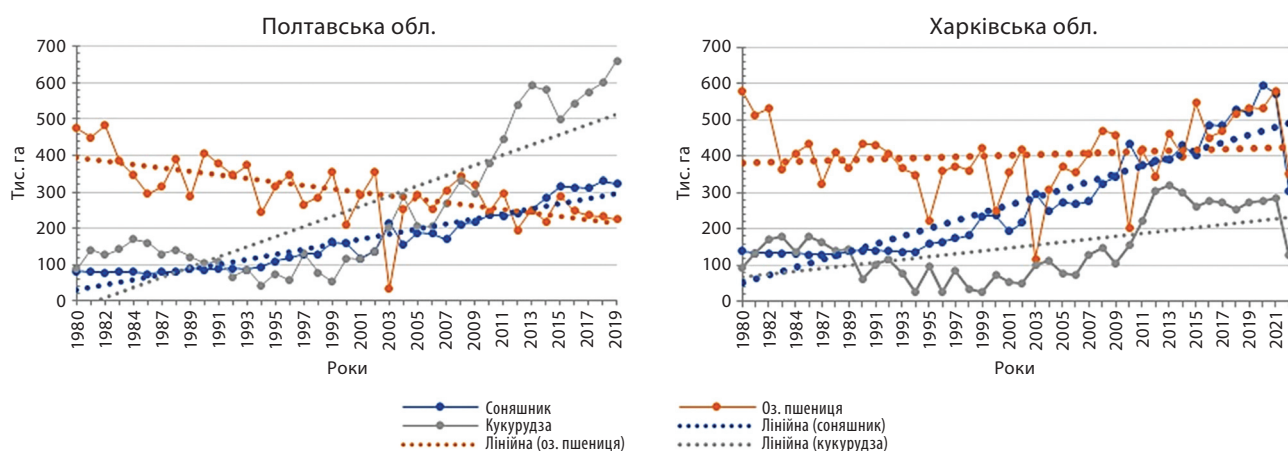


Рис. 5. Динаміка посівних площ кукурудзи, соняшника та озимої пшениці

Джерело: побудовано авторами за даними Державної служби статистики України.

є використання індикаторів NDVI, TCI, VCI і VHI. Зокрема, при оцінці стану рослинності використовується індекс вегетаційних умов VCI як функція NDVI, що показує його тижневе відхилення від середньобаторічного та тісно корелює з умовами зволоження. Визначено, що середні значення індексу VCI за вегетаційний період не виходять за межі сприятливих значень, що відповідає задовільним умовам зволоження, за винятком посушливих 1982–1988 років. Індекс температурних умов TCI характеризує щотижневі відхилення температури наземного покриву від середньої багаторічної за сезонний цикл, що пов'язане зі змінами погодних умов. Таким чином, він показує вплив зміни температурних умов на розвиток рослинності, а також його вклад у виникнення посушливих

явищ. За проведенням аналізом динаміки цього індексу випливає, що за 40-річний період спостерігався загальний тренд зниження індексу TCI, а його значення відповідає стресовим температурним умовам або близьким до них починаючи з 2007 року в Харківській області, що можна пояснити значним підвищенням середньої температури за вегетаційний період порівняно з середньою багаторічною за цей період. Індекс стану рослинності VHI як комбінація індексів VCI та TCI використовується для оцінки формування врожаю. Індеси нижче 40 вказують на стрес рослинності, де можна очікувати втрати врожаю сільськогосподарських культур, а значення вище 60 — на здорову рослинність і прогнозування гарного врожаю. За значеннями цього індексу протягом 1982–2022 рр.

можна констатувати задовільний стан рослинності. Однак у 2010 та 2019 рр. у Харківській області цей показник був близьким до критичного, що можна пояснити значним підвищенням середньої за вегетаційний період температури. Отже, отримана ретроспективна та оперативна інформація є важливою в процесі розроблення стратегії, планування та заходів з адаптації до змін клімату шляхом удосконалення структури агроландшафтів і систем землекористування, структури посівних площ і сівозмін.

Одним із важливих елементів дистанційного моніторингу агроландшафтів, зокрема розповсюдження процесів деградації земель, є проведення оцінювання впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив України, що зумовлено необхідністю забезпечення продовольством понад 400 мільйонів осіб у країнах, які наразі забезпечує Україна. Після початку воєнних дій ґрунтовий покрив України зазнав і продовжує зазнавати безпрецедентний вплив. Зважаючи на те, що воєнні дії тривають, а більшість деокупованої території заміновано, використання супутникових даних стає пріоритетним для проведення наукових досліджень і подальшого оцінювання. Станом на 2024 рік в Україні створено низку нормативних документів для оцінки шкоди, зокрема Постанову Кабінету Міністрів України від 20 березня 2022 року № 326 “Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації” [12]. Одним із розділів методики оцінки збитків (розділ III) передбачено, серед іншого, використання даних дистанційного зондування Землі. Використання космічних знімків передбачається також Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 414 від 05 жовтня 2022 року (пункт 8) [13]. Отже, визначено пріоритетний напрям використання даних, але ще не створено відповідної методології.

Обмежений доступ до об'єктів дослідження в зонах конфлікту може бути компенсований завдяки дистанційному зондуванню, що дозволяє успішно проводити моніторинг розвитку воєнних дій [14]. Дистанційний моніторинг використовувався для вирішення різних наукових задач і завдань в умовах бойових дій: моніторинг водних ресурсів та інфраструктури [15] та моніторинг земельного покриття в умовах війни за допомогою машинного навчання [16; 17].

Опис впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив на основі супутникових даних наразі відсутній. Він має визначальне значення як база при оцінюванні через невизначеність і відсутність супутникових даних під час світових війн. Через це введено поняття ідентифікаторів військового впливу на ґрунтовий покрив або

будь-якого антропогенного впливу на ґрунтовий покрив, що став аномальним після початку воєнних дій 24 лютого 2022 року. У результаті досліджень проведено систематизацію даних щодо встановлених фактів впливу на ґрунтові ресурси трьох районів Харківської області. Зокрема, було встановлено та наведено перелік ідентифікаторів впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив за супутниковою інформацією. Серед основних ідентифікаторів впливу: фізичний вплив (вирви різного походження, ущільнення ґрунту на сільськогосподарських землях України, вивертання ґрунту внаслідок будівництва споруд оборонного характеру тощо), антропогенний вплив (спалення врожаю, стан рослинності на сільськогосподарських землях), додавання аномальних для сільськогосподарських земель об'єктів (бетонних укриттів, конусних пірамід “зуби дракона”). Використання високоякісних супутникових знімків дозволяє встановити хімічний вплив на ґрунтовий покрив унаслідок підризу різного роду бронетехніки на сільськогосподарських землях, що є найбільш токсичним для ґрунтового покриття.

Для отримання вихідної інформації використано вебсайт Європейського космічного агентства: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>. За допомогою його інструментарію підбиралися парні супутникові знімки для аналізу, проводилася ідентифікація різного виду впливу на ґрунтовий покрив, оцінка ступеня впливу, визначалися прямі та дотичні ідентифікатори впливу [18].

Для оцінки втрати врожаю, хімічного та абіотичного впливів було використано супутникові знімки з просторовою здатністю 1 м на піксель, а також знімки з просторовою роздільною здатністю 10 м на піксель з Європейського космічного агентства. Тематичну інформацію отримували за допомогою мануального геокодування з вебсайту: <https://ukr.warspotting.net>.

Отже, в результаті проведених досліджень було встановлено:

1. *Фізична деградація* на супутникових знімках може ідентифікуватися протягом трьох місяців у разі короточасного впливу. До неї належать військові польові дороги на сільськогосподарських полях. Ознаками такої деградації на сільськогосподарських полях є ниткоподібні лінії, які були відсутні до початку воєнних дій.

2. *Механічна деградація* на супутникових знімках має аномальні кольорові ознаки (округлі форми — кратери) або витягнуті й ламані аморфні структури на ґрунтовому покритті (траншеї особового складу, рови тощо). Для достовірної оцінки її слід проводити якомога раніше. За експертною оцінкою, це потрібно

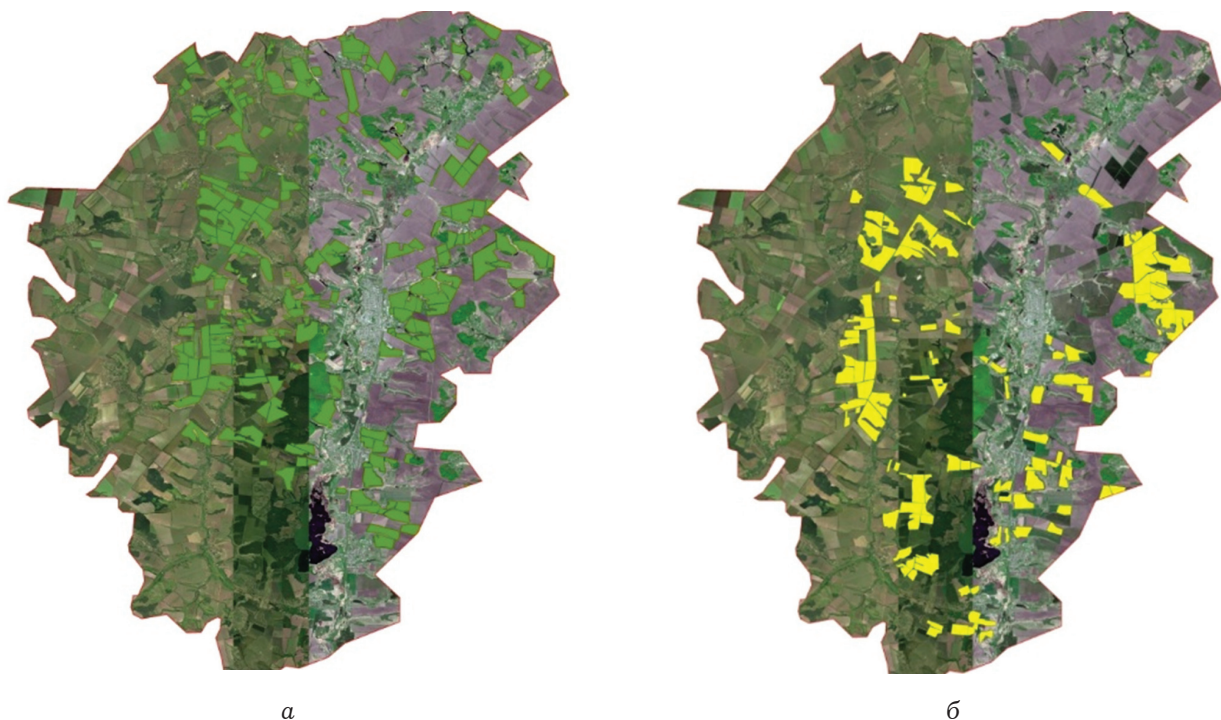


Рис. 6. Кількість посівів озимих у 2022 (а — зелений колір) та 2023 (б — жовтий колір) роках Золочівської громади Богодухівського району Харківської області

Джерело: розроблено авторами.

робити не пізніше ніж через пів року (6 місяців) після початку змін, інакше їх ідентифікація буде ускладнена через “маскування” останніх польовою рослинністю.

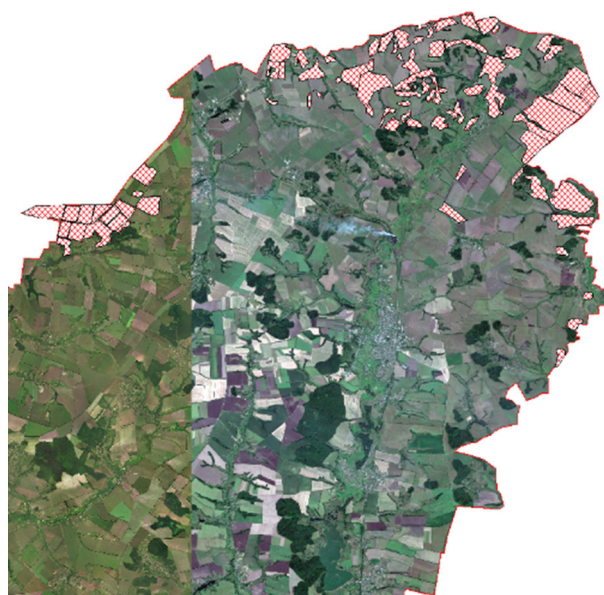


Рис. 7. Абіотичний вплив на території Богодухівської та Золочівської громад станом на вересень 2023 р.

Джерело: розроблено авторами.

3. *Абіотичний вплив* ідентифікується як різка зміна кольору рослин (решток рослин) до інтенсивного чорного на полі. Поступово абіотичний вплив змінює колір на світліший після розкладання залишків згоряння, тому ідентифікація може відбуватися від кількох тижнів до місяця від моменту впливу.

4. *Хімічний вплив* ідентифікується у разі потрапляння горіння техніки на супутникові дані, що має випадковий характер. Це супроводжується появою чорного та білого диму на знімку різкою зміною кольору останнього на чорний. Згідно з результатами лабораторних аналізів, він вважається найбільш суттєвим для ґрунтового покриття та токсичним [19]. Тривалість впливу досі не визначена.

За проведеним оверлейним аналізом різночасових супутникових знімків було створено картосхеми впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив Богодухівського, Дергачівського, Харківського та Чугуївського районів Харківської області, зокрема втрати врожаю (рис. 6), абіотичний вплив (рис. 7) і хімічний вплив (рис. 8).

У результаті досліджень було систематизовано основні види впливу на ґрунтовий покрив об'єктів дослідження та підраховано за адміністративними районами Харківської області, зокрема для Чугуївського району (табл. 1).

Отримані дані свідчать про збільшення навантаження на ґрунтовий покрив об'єктів дослідження впродовж 2023 р. У 2024 р. до цього ще додалися морфологічні зміни практично на всій території Харківської області внаслідок початку побудови захисних споруд, ровів, бліндажів, РОП, ВОПів тощо. Тобто за останні два роки на території Харківської області відбувається зростання навантаження на ґрунтовий покрив, що підтверджується отриманими фактичними даними супутникових знімків. За ступенем впливу, безумовно, переважає саме хімічний вплив як найбільш тривалий у часі та токсичний для ґрунту.

Однією з екологічних проблем є погіршення стану вологозабезпеченості сільськогосподарських культур унаслідок зростаючої аридизації кліматичних умов на тлі аномально високих температур, що особливо спостерігається впродовж останніх років, зокрема в зоні Степу. У межах України ця зона охоплює південні та південно-східні області, які значно постраждали внаслідок збройної агресії Росії проти України. Надзвичайно гостро постало питання вологозабезпечення Херсонської, Дніпропетровської та Запорізької областей після підриву греблі Каховської ГЕС та подальшого висихання Каховського водосховища.

За даними Міністерства аграрної політики та продовольства України, через підри्व Каховської ГЕС було зупинено водопостачання 31 системи зрошення полів у Дніпропетровській, Херсонській і Запорізькій областях. Лише 13 зрошувальних систем функціонують на право-

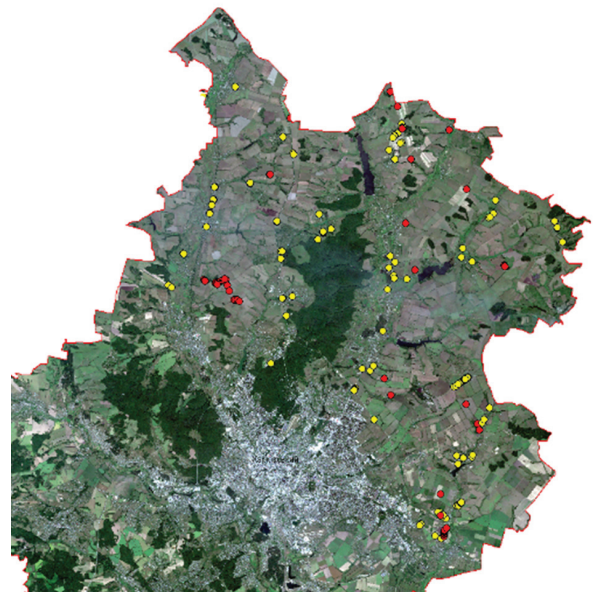


Рис. 8. Класифікація впливу уламків бронетехніки на ґрунтовий покрив Харківського району Харківської області станом на вересень 2023 р. (червоні кола — найбільший вплив, жовті кола — помірний вплив на ґрунтовий покрив)

Джерело: розроблено авторами.

му березі Дніпра. Унаслідок підриву ГЕС без води залишилося 94% зрошувальних систем у Херсонській, 74% — у Запорізькій і 30% — у Дніпропетровській областях. Руїнація Каховської ГЕС призвела до затоплень, пошкоджень і повної зупинки функціонування меліоративної

Таблиця 1

Систематизація різних видів впливу на ґрунтовий покрив деяких адміністративних районів Харківської області

Назва району	Назва об'єднаної територіальної громади	Хімічний вплив — кількість уламків техніки, одиниць	Абіотичний вплив — 2022/2023 р., площа, га	Втрати врожаю — 2022/2023, площа, га
Чугуївський	Вовчанська	42	4,68±0,37 / 6121,46±66,4	26518,59±48,32 / 0
	Старосалтівська	1	3,38±0,33 / 1195,1±131,9	6940±48,23 / 0
	Чугуївська	—	—	—
	Печенізька	10	—	7435±40,48 / 39,1
	Малинівська	—	242±0,26 / 242,5±26,5	4301,94±61,12
	Новопокровська	—	—	—
	Слобожанська	—	—	—
	Чкаловська	24	4,96±0,4 / 5354,3±77,4	11900±67,4 / 3029±80,1
	Усього	77	37,3±0,31 / 12913,5±83,1	138475±50,36 / 3068±79,31

Джерело: сформовано авторами за результатами власних досліджень.

інфраструктури в районах, прилеглих до Каховського водосховища.

Моніторинг процесів поширення кризових явищ та їхніх наслідків неможливо забезпечити лише традиційними наземними методами без отримання оперативної просторової інформації на регіональному та загальнодержавному рівнях. Сучасним інструментом для такого моніторингу й оцінювання є супутниковий інформаційний ресурс, за допомогою якого можна отримати інформацію щодо кліматичних показників, стану рослинності та показників деградації земель, у тому числі внаслідок воєнних дій.

Аналіз світового досвіду оцінки стану рослинного покриву методами ДЗЗ свідчить про можливість оперативно ідентифікувати та діагностувати посушливі явища й процеси опустелювання за супутниковими даними, зокрема, за спектральними вегетаційними індексами [20].

Наявність великої кількості даних із різних супутникових систем дозволяє отримувати інформацію про біосферні та кліматичні процеси практично на безперервній основі. Європейське космічне агентство створило зручну класифікацію наборів даних датчиків, доступних місії Copernicus, що визначаються за типом місії та просторовою роздільною здатністю.

Обґрунтовано, що найбільш оптимальним є поєднання систем низької та середньої роздільної здатності (радіометр AVHRR метеосупутників серії NOAA, багатозональний сканер MODIS супутника Terra, супутник Landsat) і систем високої роздільної здатності (SPOT,

RapidEye, Sentinel-2 та ін.), а також мікрохвильових датчиків, таких як Soil Moisture Active Passive (SMAP), Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) та Sentinel-1, для здійснення оперативного агроекологічного моніторингу на різних просторових рівнях — як на великих площах, так і на локальному рівні.

Серед численних доступних індексів дослідження стану агресурсів спираються переважно на 25 вегетаційних індексів. Визначено, що індикаторами стану вологозабезпечення рослинності є NDVI, NDWI та їх лінійна комбінація, а також індекс температурного режиму, оскільки зростання температури листя є одним із показників критичного вологовмісту рослин і передвісником початку посухи.

Було проведено апробацію використання супутникових індикаторів на пілотній території зони затоплення Каховської ГЕС та хронологічно порівняно стан агресурсів до її руйнування — у серпні 2022 р. — і після — у серпні 2024 р. За радіолокаційними знімками Sentinel-1 спостерігається майже повне висихання Каховського водосховища, що призвело до погіршення стану агресурсів, зокрема щодо вологозабезпечення. Порівняння супутникових знімків Sentinel-2 території Херсонської області за 22 серпня 2022 р. (до підриву Каховської ГЕС) і 23 серпня 2024 р. (після підриву) свідчить про значне поширення посушливих явищ (значення $NDMI < 0$) на території обраних районів Херсонської області, зокрема в межах Каховської зрошувальної системи та громад Костянтинівської, Любимівської та Тавричанської (рис. 9).

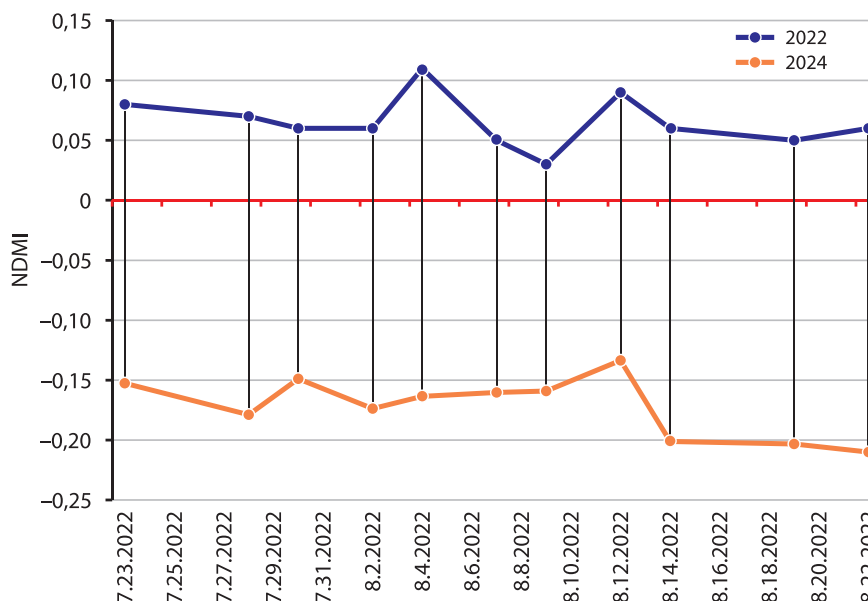


Рис. 9. Динаміка NDMI у серпні 2022 та 2024 рр.

Джерело: побудовано авторами за супутниковими даними Sentinel-2.

Руйнація Каховського водосховища і, як наслідок, системи зрошення призвела до погіршення стану рослинності, що спостерігається за індексом NDVI на території громад Костянтинівської, Любимівської та Тавричанської. Середнє значення за серпень 2022 р. становило 0,48, на противагу 0,24 — у серпні 2024 р.

Комбінований вплив кліматичних змін і воєнних дій на агроєкосистеми України спричиняє інтенсифікацію процесів деградації та опустелювання земель, а також виснаження ґрунтової родючості. Ці процеси набули глобального масштабу в усіх природно-кліматичних зонах протягом останніх десятиліть. Опустелювання як критична екологічна проблема впливає на життєдіяльність мільйонів людей у світовому масштабі. Конференція ООН щодо боротьби з опустелюванням (далі — КБО), проведена в 1977 році, заклала фундамент для систематичної протидії цим процесам через розробку комплексного плану дій. Пріоритетним завданням КБО визначено запобігання подальшому опустелюванню та деградації земель. Ключову роль у реалізації положень КБО відіграє моніторинг поширення цих процесів, зокрема із застосуванням супутникових даних, методологія використання яких зазнала значного розвитку протягом останніх трьох десятиліть [21].

Ефективне вирішення цих проблем на локальному та регіональному рівнях потребує отримання об'єктивної інформації щодо їхнього просторового поширення. Інформаційно-аналітичні вебресурси стають важливим інструментом підвищення обізнаності, стимулювання досліджень та розробки ефективних рішень. Функціональність таких ресурсів забезпечується раціонально структурованими базами даних (далі — БД), що оптимізують процеси зберігання, доступу та аналізу інформації про опустелювання.

На основі комплексного аналізу та систематизації світових і вітчизняних спеціалізованих інформаційних ресурсів було розроблено концепцію БД пілотної версії інформаційно-аналітичного вебсайту “Агрокосмос”. Концепція базується на таких фундаментальних наукових принципах:

- *інтеграція даних* (об'єднання розрізнених даних у цілісну систему);
- *цілісність даних* (забезпечення відповідності інформації реальному стану предметної сфери);
- *незалежність даних* (автономність прикладних програм від структури збережених даних);
- *мінімізація надлишковості* (унікальність кожного елемента в БД);
- *зв'язність* (відображення взаємозалежностей між об'єктами предметної сфери через систему логічних зв'язків).

Визначено типологію та специфікацію даних для наповнення БД вебсайту “Агрокосмос” щодо просторового поширення процесів опустелювання та посушливих явищ. Систематизовано джерела інформації, охоплюючи ресурси Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням, FAO, базу даних GLASOD про глобальний стан ґрунтів, супутникові дані NASA та ESA, програму Copernicus тощо.

Структура БД сформована з 40 основних сутностей, кожна з яких представлена відповідною таблицею з визначеними атрибутами (приклад наведено в табл. 2).

Таблиця 2

Сутність “Заходи”

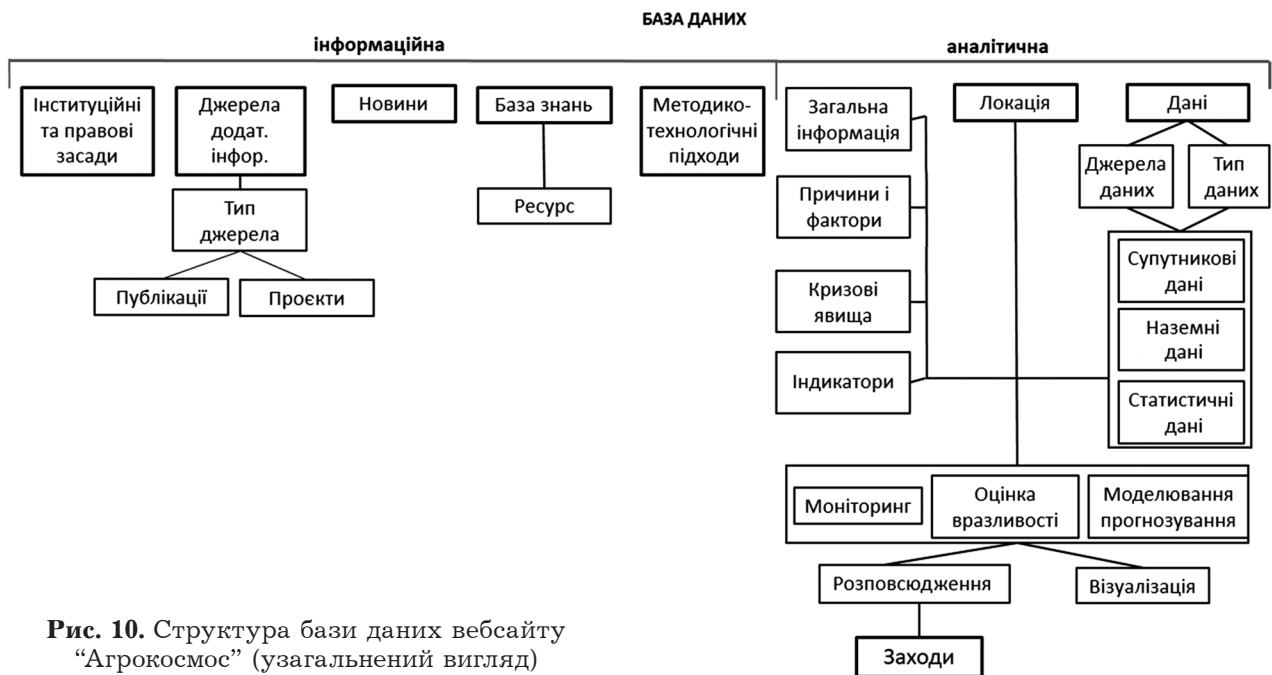
Назва поля	Формат даних
ID_заходу	int
Назва заходу	String text
Опис	Long string text
Рекомендації	Long string text
ID_типу заходу	int
Дата початку	Data
Дата закінчення	Data
ID_локації	int

Джерело: створено авторами.

Між сутностями встановлено систему логічних зв'язків. Узагальнену структуру бази даних візуалізовано на рис. 10.

Отже, розроблення та впровадження системи комплексного супутникового моніторингу забезпечує ефективне відстеження змін в агроєкосистемах України, враховуючи наслідки впливу кліматичних змін, воєнних дій і техногенних катастроф, що є критично важливим для оцінки стану земельних ресурсів та прийняття своєчасних управлінських рішень.

Сучасні зміни клімату є одним із найбільших викликів, з якими стикається людство. Метеорологічні зміни призводять до різких змін умов навколишнього середовища, що своєю чергою створює передумови для зміни природного біорізноманіття та придатності екосистем як середовища проживання видів. Ці зміни зачепили не тільки глобальну кліматологію, але й істотно вплинули на локальні агрометеорологічні умови низки територій, зокрема й України. Тому на сучасному етапі використання розроблених кілька десятиліть тому картограм географічного районування культурних і дикорослих рослин уже втратило наукову актуальність. Отже, перегляд сучасного агрокліматичного та агроєкологічного районування сільськогосподарських культур в Україні є нагальним питанням, над



вирішенням якого працюють фахівці різних наукових галузей: сільського господарства, екології, географії тощо. Існують різні методологічні підходи до агроекологічного районування територій. Утім, зважаючи на тенденції до цифрової трансформації науки та можливості сучасних інтегративних геоінформаційних систем і засобів супутникового моніторингу, актуальним є питання розробки методології оцінки агро-екологічного районування саме на основі даних аерокосмічної зйомки.

Крім того, важливою проблематикою сучасної аграрної науки є застосування даних супутникового моніторингу для автоматизованого розпізнавання сільськогосподарських культур і видів сільськогосподарських угідь для їх наступного картування та вивчення географічної компоненти структури посівних площ. Це є цінним інструментом економетричного аналізу стану АПК, прогнозування продуктивності сільськогосподарських угідь та забезпечення продовольчої безпеки, динаміки ринку продукції рослинництва, ефективності використання природних ресурсів (передусім земельних і водних) тощо. Потрібно не тільки розробити методологію та алгоритми такої класифікації, але й надати відповідний практичний інструментарій для ефективного використання розробок, тобто створити готовий програмний продукт, який дозволить застосувати теоретичні напрацювання на практиці.

В Інституті кліматично орієнтованого сільського господарства проаналізовано та об-

ґрунтовано можливості, особливості й методи використання даних дистанційного зондування Землі для проведення агроекологічного районування, класифікаційного аналізу та картування сільськогосподарських земель. Методами дискримінантного аналізу розроблено математичні моделі розпізнавання та класифікації основних сільськогосподарських культур України, а також модель ідентифікації зрошуваних і неpolивних земель. За аналізом внутрішньосезонної динаміки росту та розвитку основних стратегічних сільськогосподарських культур України, а саме кукурудзи на зерно, сої, соняшнику, пшениці, ячменю, ріпаку, люцерни, цукрових буряків і рису, було доведено можливість використання їх моделі NDVI для розпізнавання та картування посівів. Дослідження проводилося з використанням історичних даних NDVI, розрахованих на основі зведених безхмарних, вільних від атмосферних спотворень знімків супутників Landsat-8 і Sentinel-2 із просторовою роздільною здатністю 250 м. За річною внутрішньосезонною динамікою значень NDVI встановлено закономірності зміни індексу за фазами росту та розвитку досліджуваних культур (рис. 11) та визначено його придатність для їх ідентифікації та потенційного застосування в системах картування посівів. Було визначено, що велике значення для успішного розпізнавання пізніх ярих культур мають найпізніші етапи їх розвитку, а саме передзбиральний період (переважно етапи, які охоплюють період від початку стиглості до повної стиглості)

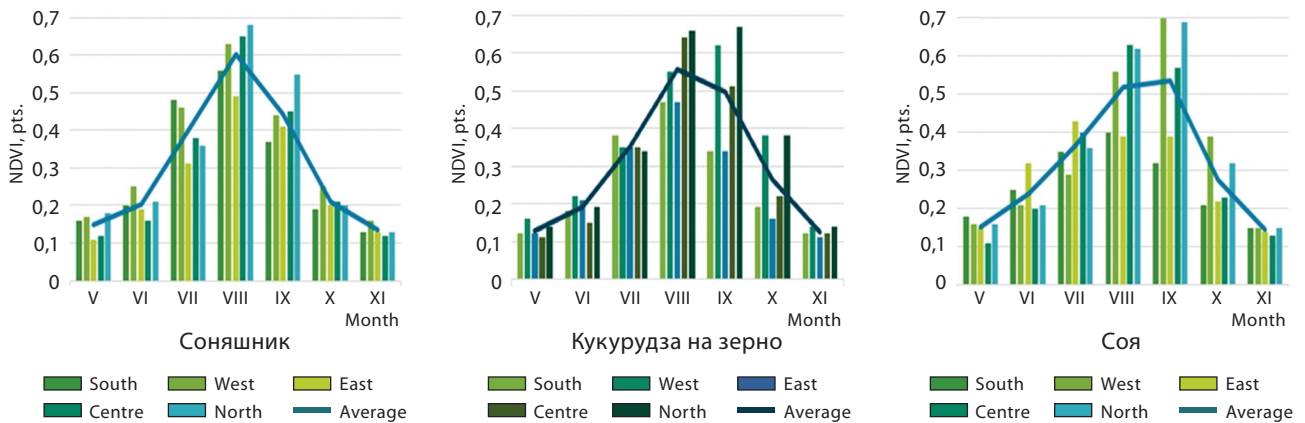


Рис. 11. Динаміка NDVI протягом вегетаційного періоду залежно від зони вирощування

Джерело: побудовано авторами за супутниковими даними.

[22–24]. Таким чином, серпневі значення NDVI є основним предиктором для автоматизованого розрізнення соняшнику, кукурудзи та сої, вирощуваних у неполивних умовах України.

За результатами виконання наукової роботи з розробки методології дистанційного розпізнавання посівів різних видів сільськогосподарських культур і меліорованих земель було розроблено програмний продукт — HTML-додаток Agroland Classifier для розпізнавання посівів сільськогосподарських культур і мелі-

орованих земель за сезонною динамікою величини супутникового нормалізованого диференційного вегетаційного індексу, який ґрунтується на комплексі алгоритмів машинного навчання, таких як дискримінантний лінійний аналіз і логістична регресія (парна та множинна). Dodatok Agroland Classifier, на який отримано авторське свідоцтво [25], наразі не має аналогів в Україні.

На основі даних аерокосмічної зйомки запропоновано інноваційну комплексну методо-



Величина АЕЗІ		Придатність сільськогосподарських земель для вирощування сільськогосподарських культур
	0–20%	Непридатні
	21–30%	Малопридатні (слабоокультурені землі)
	31–40%	Умовно придатні
	41–60%	Придатні
	61–75%	Оптимальні
	>75%	Ідеальні умови (сумнівність достовірності розрахунку)

Рис. 12. Картування придатності незрошуваних сільськогосподарських угідь зони Степу України для вирощування основних сільськогосподарських культур

Джерело: створено авторами.

логію агроекологічного районування територій із залученням розробленого індексу AEZI, виконано районування та картування зрошуваних і богарних сільськогосподарських земель зони Степу України за ступенем їх придатності до вирощування культурних рослин. Індекс агроекологічного районування (AEZI) — це ефективний інструмент оцінювання придатності сільськогосподарських угідь для вирощування різних культур на основі показників дистанційного зондування: NDVI, NDWI та NRI. Комплексний підхід до оцінки умов вирощування конкретної культури, що охоплює загальний стан рослинності (NDVI), водозабезпеченість (NDWI) та доступність азоту (NRI), забезпечує достовірне визначення придатності території. Це дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо політики використання сільськогосподарських угідь, структури орних земель і сівозмін [26]. За результатами науково-дослідної роботи розроблено методологію агроекологічного районування сільськогосподарських культур із застосуванням інтегративного комплексу супутникових індексів; запропоновано сучасне агроекологічне районування стратегічних сільськогосподарських культур у зоні Степу України на основі даних дистанційного зондування Землі; створено картограми та інформаційну базу даних із географічним компонентом щодо районування основних сільськогосподарських культур у зоні Степу України (див. рис. 12). Отримані відповідні результати розрахунків занесено в створену географічну базу даних Agroecological zoning of the steppe zone of Ukraine v.1.00, розроблену в середовищі Microsoft Access 365, яка може бути використана в науково-практичних цілях для встановлення оптимальних зон вирощування основних сільськогосподарських культур Півдня України [27].

Застосування даних аерокосмічного моніторингу відкриває нові можливості для дистанційної ідентифікації зрошуваних земель, що є важливим для оцінки реального масштабу впровадження зрошувальних меліорацій, контролю за станом зрошуваних сільськогосподарських угідь, їх географічної локалізації та прив'язки з метою наступного картування, а також оптимізації використання водних ресурсів.

ВИСНОВКИ

Застосування сучасних інформаційних технологій ДЗЗ/ГІС та глобального позиціонування є ефективним інструментом для оперативного супутникового моніторингу агроландшафтів, прогнозування впливу змін клімату та воєнних дій на агресурси та системи землекористування.

У результаті розробки наукового забезпечення супутникового моніторингу деградаційних процесів в агроландшафтах, виявлення екологічних ризиків і прогнозування продуктивності сільськогосподарських культур визначено та обґрунтовано супутникові системи й індикатори стану агресурсів для моніторингу негативних явищ, ризиків впливу змін клімату та воєнних дій на агроекосистеми, проведено систематизацію різних видів впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив і встановлено відповідні ідентифікатори. Створено структуру бази даних інформаційно-аналітичного сайту “Агрокосмос” щодо просторового поширення процесів опустелювання та посушливих явищ, визначено типи даних, вимоги до них та джерела їх отримання. Розроблено методологію та алгоритми застосування даних дистанційного зондування Землі, програмне забезпечення для автоматизації розпізнавання сільськогосподарських культур і меліорованих земель за результатами математико-статистичної обробки вхідних даних супутникового моніторингу, а також методологію агроекологічного районування сільськогосподарських земель за ступенем їх придатності до вирощування різних за біологічними вимогами сільськогосподарських культур із використанням даних аерокосмічного моніторингу. Створено програмні продукти: мультиплатформний додаток Agroland Classifier та географічну базу даних Agroecological Zoning of the Steppe Zone of Ukraine, на які отримані свідоцтва про авторське право.

Отже, ефективне застосування даних аерокосмічного моніторингу в сучасній аграрній науці та практиці сприятиме поліпшенню раціонального використання агрокліматичного потенціалу України, стабільному виробництву якісної продукції рослинництва та забезпеченню продовольчої безпеки держави.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегія формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2024 р. № 483-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#n16> (дата звернення: 10.09.2024).
2. Операційний план заходів з реалізації у 2024–2026 роках Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року: затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2024 р. № 483-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#n178> (дата звернення: 10.09.2024).
3. GEOS Platform — Data knowledge. *European Space Agency*. 26 Nov. 2019. URL: <https://earth.esa.int/eogateway/success-story/geos-platform-data-knowledge> (accessed: 13.01.2025).

4. About Copernicus. The Earth Observation component of the EU Space Programme. URL: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus> (accessed: 13.01.2025).
5. Коломієць Л.П., Шевченко І.П., Повидало В.М., Терещенко О.М., Шквир І.М. Заходи з відновлення земель сільськогосподарського призначення порушених унаслідок воєнних дій. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 10. С. 55–61. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-08>
6. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / О. Голубцов, Л. Сорокіна, А. Сплодитель, С. Чумаченко. Київ: ГО “Центр екологічних ініціатив “Екодія””, 2023. 32 с.
7. Балюк С.А., Медведєв В.В., Воротинцева Л.І., Шимель В.В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>
8. Стан і завдання забезпечення управління ґрунтовими ресурсами на етапі збройної агресії та післявоєнного відновлення: монографія; за ред. С.А. Балюка, А.В. Кучера. Київ: Аграрна наука, 2023. 168 с. DOI: <https://doi.org/10.31073/978-966-540-590-0>
9. Climate Indicators. The Copernicus Climate Change Service. URL: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators> (accessed: 13.02.2025).
10. Global Climate Observation System. URL: <https://gcos.wmo.int/en/home> (accessed: 13.01.2025).
11. Tarariko O.H., Cruse R.M., Iliencko T.V., Kuchma T.L., Kozlova A.O., Andereiev A.A., Yatsiuk, M.V., Velychko V.A. Impact of climate changes on agroresources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*. 2024. Vol. 11. No. 2. P. 3–29. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.003>
12. Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації: Постанова Кабінету Міністрів України від 20 березня 2022 року № 326. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.09.2024).
13. Про затвердження Методики визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 04.04.2022 року № 167. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text> (дата звернення: 10.09.2024).
14. Bennett M.M., Van Den Hoek J., Zhao B., Prishchepov A.V. Improving satellite monitoring of armed conflicts. *Earth's Future*. 2022. Vol. 10, Iss. 9. 2022.e2022EF002904. DOI: <https://doi.org/10.1029/2022EF002904>
15. Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A., Khilchevskiy V., De Meester L., Stepanenko S. et al. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nat. Sustain*. 2023. No. 6 (5). P. 578–586. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
16. Mhanna S., Halloran L.J., Zwahlen F., Asaad A.H., Brunner P., Using machine learning and remote sensing to track land use/land cover changes due to armed conflict. *Sci. Total Environ*. 2023. 898. 165600. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165600>
17. Vasiliev D., Sherstiuk D. Military Operations as a Factor of Soil and Agricultural Environment Destruction in Ukraine. *Kobe Gacuin Economic Papers*. 2024. Vol. 56, No. 1–2. P. 63–72. URL: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520020076785439360> (accessed: 13.01.2025).
18. Солоха С.О., Коньшин Р.В., Дегтярьов В.В. Ідентифікатори впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив за супутниковими даними. *Таврійський науковий вісник*. 2024. Вип. 137. С. 235–244. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.29>
19. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N., Sementsova K., Mariychuk R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 13, No. 10. 1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101614>
20. Shen X., Cao L., Yang B., Xu Z., Wang G. Estimation of Forest Structural Attributes Using Spectral Indices and Point Clouds from UAS-Based Multispectral and RGB Imageries. *Remote Sens*. 2019. Vol. 11, No. 7. 800. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11070800>
21. Васильєв Д.П., Ільєнко Т.В. Моніторинг процесів опустелювання за супутниковими даними: досвід та перспективи. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 3 С. 82–93. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311183>
22. Лиховид П.В., Грановська Л.М. Класифікація зрошуваних і незрошуваних посівів пшениці озимої, кукурудзи, сої та соняшнику на основі даних аерокосмічного моніторингу. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 136 (2). С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.1>
23. Лиховид П.В. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс як маркер ідентифікації озимих культур у системах автоматизованого картування посівів. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 98–104. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.14>
24. Lykhovyd P., Averchev O., Vozhehova R., Avercheva N., Bidnyna I., Kozyriev V., Shablia O., Marchenko T., Leliavska L., Haydash O., Hetman M., Piliarska O. Supervised machine learning in crop recognition through remote sensing: A case study for Ukrainian croplands. *Modern Phytomorphology*. 2024. Vol. 18. P. 183–187. DOI: [10.5281/zenodo.200121](https://doi.org/10.5281/zenodo.200121)
25. Комп'ютерна програма “Agroland Classifier”: Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 129162 від 20.08.2024 / П.В. Лиховид.
26. Lykhovyd P., Vozhehova R., Hranovska L., Bidnyna I., Shablia O., Kokoiko V., Koblai S., Solomonov R., Kulidzhanov E., Hnylytskyi Ye. Implementation of agroecological zoning index to map the suitability of agricultural lands of the Steppe zone of Ukraine for the cultivation of major crops. *Modern Phytomorphology*. 2024. Vol. 18. P. 41–46. DOI: [10.5281/zenodo.200121](https://doi.org/10.5281/zenodo.200121)
27. База даних “Agroecological Zoning of the Steppe Zone of Ukraine”: Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 127094 від 05.06.2024 / П.В. Лиховид.

SATELLITE INFORMATION RESOURCE — MODERN POTENTIAL FOR SOLVING ECOLOGICAL PROBLEMS OF UKRAINE'S AGROSPHERE

Tarariko O.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of NAAS
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: tarariko@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5132-0157>

Demyanyuk O.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of NAAS
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4134-9853>

Iliencko T.

Candidate of Agricultural Sciences
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5406-5449>

Solokha M.

Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher
NSC "Institute of Soil Science and Agrochemistry named after O.N. Sokolovsky" of NAAS
(Kharkiv, Ukraine)
e-mail: solomax@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1860-0819>

Lykhovyd P.

Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher
Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS (Odesa, Ukraine)
e-mail: pavel.likhovid@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0314-7644>

Agroecosystems of Ukraine are experiencing increased impact from climate change and military actions, leading to growing risks of land degradation, desertification, and soil depletion in all natural-climatic zones of the country. Under these conditions, the system of agroecological monitoring becomes crucial, with satellite observations being an integral component that provides both retrospective analysis and operational tracking of the spatial-temporal distribution of negative phenomena. This creates a foundation for improving information support for managing natural and production processes in agriculture and environmental management. The article, based on the report by Corresponding Member of NAAS O.S. Demyanyuk, presents research results conducted within the framework of the National Academy of Agrarian Sciences program "Agrocosmos" ("Satellite agroecological monitoring, agrosresource management, and forecasting the impact of climate change on agroecosystem productivity"), aimed at developing scientific and methodological support for using satellite monitoring data to solve environmental problems. Satellite indicators of climate change risks and military actions on agroecosystems have been substantiated and identified. Through retrospective analysis of these indicators' dynamics over a 40-year period, clear trends of climate change and their impact on agroecosystems in the eastern part of the Forest-Steppe were established, and these indicators were tested for monitoring negative phenomena in agricultural landscapes due to the destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant. Identifiers of military actions' impact on soil cover based on satellite information were established; corresponding map schemes were created using GIS with an assessment of the degree of impact on soil resources in Kharkiv region. To improve information support for agroecological monitoring, particularly regarding the problem of desertification and land degradation processes, the structure of a database for a corresponding information-analytical website has been developed. Based on published sources and conducted research, the high potential of aerospace monitoring data for agroecosystems has been proven for identification of agricultural crops, their classification and mapping, particularly using the vegetation index NDVI, as well as for performing modern dynamic agroecological zoning of agricultural lands according to their suitability for growing agricultural crops with different biological requirements using aerospace monitoring data.

Keywords: agroecosystem, remote sensing, database, climate change, military action impact identifiers, agroecological zoning, mapping.

REFERENCES

1. Strategy for the formation and implementation of state policy in the field of climate change for the period until 2035. (2024, May). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#n16>
2. Operational plan of measures for the implementation in 2024-2026 of the Strategy for the formation and implementation of state policy in the field of climate change for the period until 2035. (2024, May). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#n178>
3. GEOSS Platform Data Knowledge. (2019). Retrieved from <https://earth.esa.int/eogateway/success-story/geoss-platform-data-knowledge>

4. Copernicus Programme. (n.d.). Retrieved from <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>
5. Kolomiets, L.P., Shevchenko, I.P., Povydal, V.M., Tereshchenko, O.M., & Shkvyr, I.M. (2023). Measures for the restoration of agricultural lands affected by military actions. *Bulletin of Agricultural Science*, 10, 55–65. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-08>
6. Holubtsov, O., Sorokina, L., Splodytel, A., & Chumachenko, S. (2023). Impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis results. Kyiv: NGO 'Centre for Environmental Initiatives "Eco-diia"".
7. Baliuk, S.A., Medvediev, V.V., Vorotyntseva, L.I., & Shymel, V.V. (2017). Modern problems of soil degradation and measures to achieve its neutral level. *Bulletin of Agricultural Science*, 8, 5–11. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>
8. Baliuk, S.A., & Kucher, A.V. (Eds.). (2023). Status and tasks of ensuring soil resource management at the stage of armed aggression and post-war recovery: monograph. Kyiv: Ahrarna nauka. doi: <https://doi.org/10.31073/978-966-540-590-0>
9. Climate Indicators. The Copernicus Climate Change Service. (n.d.). Retrieved from <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators>
10. Global Climate Observing System. (n.d.). Retrieved from <https://gcos.wmo.int/en/home>
11. Tarariko, O.H., Cruse, R.M., Iliencko, T.V., Kuchma, T.L., Kozlova, A.O., Andereiev, A.A., Yatsiuk, M.V., & Velychko, V.A. (2024). Impact of climate changes on aggroresources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*, 11 (2), 3–29. doi: <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.003>
12. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 326 "On approval of the Procedure for determining harm and damage caused to Ukraine as a result of armed aggression by the Russian Federation". (2022, March). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-%D0%BF#Text>
13. Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine No. 167 "On approval of the Methodology for determining the amount of damage caused to land, soils as a result of emergencies and/or armed aggression and hostilities during martial law". (2022, April). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text>
14. Bennett, M.M., Van Den Hoek, J., Zhao, B., & Prishchepov, A.V. (2022). Improving satellite monitoring of armed conflicts. *Earth's Future*, 10 (9), e2022EF002904. doi: <https://doi.org/10.1029/2022EF002904>
15. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskyi, V., De Meester, L., Stepanenko, S., et al. (2023). Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6 (5), 578–586. doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
16. Mhanna, S., Halloran, L.J., Zwahlen, F., Asaad, A.H., & Brunner, P. (2023). Using machine learning and remote sensing to track land use/land cover changes due to armed conflict. *Science of The Total Environment*, 898, 165600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165600>
17. Vasiliev, D., & Sherstiuk, D. (2024). Military Operations as a Factor of Soil and Agricultural Environment Destruction in Ukraine. *Kobe Gacuin Economic Papers*, 56 (1–2), 63–72. Retrieved from <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520020076785439360>
18. Solokha, S.O., Konshyn, R.V., & Dehtiarov, V.V. (2024). Identifiers of the impact of military operations on soil cover according to satellite data. *Taurian Scientific Bulletin*, 137, 235–244. doi: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.29>
19. Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*, 13 (10), 1614. doi: <https://doi.org/10.3390/land13101614>
20. Shen, X., Cao, L., Yang, B., Xu, Z., & Wang, G. (2019). Estimation of Forest Structural Attributes Using Spectral Indices and Point Clouds from UAS-Based Multispectral and RGB Imageries. *Remote Sensing*, 11, 800. doi: <https://doi.org/10.3390/rs11070800>
21. Vasiliev, D.P., & Iliencko, T.V. (2024). Monitoring of desertification processes using satellite data: experience and prospects. *Agroecological Journal*, 3, 82–93. doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311183>
22. Lykhovyd, P.V., & Hranovska, L.M. (2024). Classification of irrigated and non-irrigated crops of winter wheat, corn, soybeans and sunflower based on aerospace monitoring data. *Taurian Scientific Bulletin*, 136 (2), 3–9. doi: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.1>
23. Lykhovyd, P.V. (2024). Normalized difference vegetation index as a marker for identification of winter crops in automated crop mapping systems. *Agrarian Innovations*, 23, 98–104. doi: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.14>
24. Lykhovyd, P., Vozhehova, R., Bidnyna, I., Shablia, O., Averchev, O., Avercheva, N., Kozyriev, V., Marchenko, T., Leliavska, L., Haydash, O., Hetman, M., & Piliarska, O. (2024). Supervised machine learning in crop recognition through remote sensing: A case study for Ukrainian croplands. *Modern Phytomorphology*, 18, 183–187. doi: [10.5281/zenodo.2024-18-PDFNo.](https://zenodo.org/record/105281/10.5281/zenodo.2024-18-PDFNo.)
25. Lykhovyd, P.V. (2024). Computer program "Agroland Classifier". Certificate of copyright registration for the work No. 129162.
26. Lykhovyd, P., Vozhehova, R., Hranovska, L., Bidnyna, I., Shablia, O., Kokoiko, V., Koblai, S., Solomonov, R., Kulidzhanov, E., & Hnylytskyi, Ye. (2024). Implementation of agroecological zoning index to map the suitability of agricultural lands of the Steppe zone of Ukraine for the cultivation of major crops. *Modern Phytomorphology*, 18, 41–46. doi: [10.5281/zenodo.200121](https://zenodo.org/record/105281/10.5281/zenodo.200121)
27. Lykhovyd, P.V. (2024). Database "Agroecological Zoning of the Steppe Zone of Ukraine". Certificate of copyright registration for the work No. 127094.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

ТАРАРІКО Олександр Григорович, доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, лауреат Державної премії України, заслужений діяч науки і техніки України, головний науковий співробітник, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: tarariko@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5132-0157>).

ДЕМ'ЯНЮК Олена Сергіївна, доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, заступник директора з наукової роботи, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4134-9853>).

ІЛЬЄНКО Тетяна Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук, завідувач лабораторії, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5406-5449>).

СОЛОХА Максим Олександрович, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії, ННЦ "Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського" НААН (вул. Михайла Семенка, 4, м. Харків, Україна, 61024; e-mail: solomax@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1860-0819>).

ЛИХОВИД Павло Володимирович, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН (вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське, Одеський район, Одеська область, Україна, 67667; e-mail: pavel.likhovid@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0314-7644>).

НОВИНИ

НОВИНИ

НОВИНИ • НОВИНИ • НОВИНИ

Більше 80% українських торфовищ вже осушені і продовжують осушуватись. Торфовища займають лише 3% усієї земної поверхні і при цьому утримують п'яту частину усього CO₂ на Землі. Вони утримують вдвічі більше CO₂, ніж усі ліси світу, площа яких у 10 разів більша, ніж площа торфовищ. Більше 80% українських торфовищ вже осушені і продовжують безконтрольно осушуватись. За приблизними оцінками — це 35 млн тонн вуглецю на рік, що робить Україну одним з лідерів Європи за обсягами викидів від осушених боліт. І, разом з тим, визначає великий потенціал України у боротьбі з кліматичною кризою. Обводнені торфовища — стратегічний природний щит України: торфовища створюють природну систему захисту України від кліматичних катастроф — посух та повеней, адже за принципом губки торфові болота накопичують надлишок води та віддають її річкам у засушливий період; обводнення торфовищ запобігає масштабним пожежам, які щорічно загрожують життю та здоров'ю українців; торфові болота є нирками річок — стан торфовищ визначає якість і наявність питної води на декілька поколінь.

Природоохоронні організації наполягають на необхідності розробити та ухвалити передбачену Земельним кодексом України Постанову «Про особливості правового режиму використання земель під торфовищами та можливі види їх цільового призначення».