
ЗЕМЛЕРОБСТВО, РОСЛИННИЦТВО, ОВОЧІВНИЦТВО ТА БАШТАННИЦТВО

AGRICULTURE, CROP PRODUCTION,
VEGETABLE AND MELON GROWING

УДК 528.88: 504.064

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.1>

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В УКРАЇНІ: СИСТЕМАТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Аверчев О.В. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри землеробства,
Херсонський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0002-8333-2419

Лиховид П.В. – д.с.-г.н., провідний науковий співробітник,
відділ зрошуваного землеробства та декарбонізації агроєкосистем,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-0314-7644

Грановська Л.М. – д.е.н., професор, член-кореспондент
Національної академії аграрних наук України,
завідувач відділ зрошуваного землеробства та декарбонізації агроєкосистем,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0001-7021-3093

Чабан В.О. – д.с.-г.н., професор кафедри безпеки життєдіяльності
та професійно-прикладної фізичної підготовки,
Херсонська державна морська академія
orcid.org/0000-0003-0900-2128

Максимов Д.О. – к.с.-г.н., науковий співробітник,
відділ зрошуваного землеробства та декарбонізації агроєкосистем,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0009-0001-7461-6321

Агроєкологічний моніторинг – основа розвитку сільського господарства на засадах екологічно безпечного використання природних ресурсів і довкілля. Використання традиційних методів спостереження за агроєкосистемами вимагає великих витрат праці,



© Аверчев О.В., Лиховид П.В., Грановська Л.М., Чабан В.О., Максимов Д.О., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

капіталовкладень і витрат часу. Крім того, традиційні методи у вигляді наземних зйомок і спостережень не можуть забезпечити належної оперативності, динамічного контексту, уніфікованості та простоти трансферу агроекологічних даних, придатних до прямої машинної обробки і аналізу в сучасних геоінформаційних системах і системах точного землеробства. На сучасному етапі розвитку науки і техніки основою і стандартом агроекологічних зйомок є залучення даних дистанційного зондування Землі як такого способу отримання об'єктивної інформації про агроекосистеми, що відповідає усім сучасним критеріям і вимогам, що ставляться до наукових систем спостереження довкілля, а саме: об'єктивність, репрезентативність, ретроспективність, оперативність, масштабованість, комплексність, універсальність та інтероперабельність, динамічність, придатність до математико-статистичної обробки, моделювання та прогнозування, інтегрованість у геоінформаційні системи, прозорість і можливість верифікації даних, гнучкий багаторівневий трансфер результатів досліджень та відповідних рішень у виробничу сферу. За результатами систематичного ретроспективного аналізу наукових джерел щодо дистанційного агроекологічного моніторингу в Україні встановлено, що в останнє десятиліття спостерігається стрімкий ріст зацікавленості наукової спільноти у вивченні даного питання. Передовою науковою установою щодо питань супутникового агроекологічного моніторингу в Україні є Інститут агроекології і природокористування. Українська наука у цій сфері проблемно-орієнтована. Основна увага українських агроекологів зосереджена на проблемах ерозії, деградації та збереження родючості ґрунтів, моніторингу стану агроекосистем і агрокліматичних впливів із використанням як традиційних вегетаційних індексів (NDVI), так і деяких специфічних індексів (NDSI, BSI, EVI-S) для виконання більш деталізованих вузькопрофільних досліджень. В цілому, результати систематичного огляду літератури свідчать про бурхливий розвиток галузі агроекологічного дистанційного моніторингу і прагнення вітчизняної наукової спільноти перелаштувати національний сектор екологічних досліджень на міжнародні стандарти і технології. Основними прогалинами у сучасному агроекологічному моніторингу в Україні є недостатня науково-методична база та нормативно-правове регулювання екологічного моніторингу засобами дистанційного зондування, а також доволі обмежене коло використовуваних параметрів і технічних засобів, особливо технологій машинного та глибокого навчання, для реалізації якісного багатогранного моніторингу стану агроекосистем на всіх рівнях (ґрунт, водні ресурси, клімат, рослини тощо).

Ключові слова: агроекологія, геоінформаційні системи, моніторинг екологічних процесів агроекосистем, наукові засади, супутниковий моніторинг.

Averchev O.V., Lykhovyd P.V., Hranovska L.M., Chaban V.O., Maksymov D.O. Agroecological monitoring using remote sensing in Ukraine: A systematic literature review

Agroecological monitoring is the basis for the development of agriculture on the principles of ecologically safe use of natural resources and environmental friendliness. The use of traditional methods of observation of agroecosystems requires high labor costs, capital investments, and time expenditures. Furthermore, traditional methods in the form of ground surveys and observations cannot provide proper promptness, dynamic context, uniformity, and ease of transfer of agroecological data, which also must be suitable for direct machine processing and analysis in modern geographic information systems and precision farming systems. At the current stage of the development of science and technology, the basis and standard of agroecological surveys is the involvement of remote sensing data as a method of obtaining objective information about agroecosystems that meets all modern criteria and requirements for scientific environmental observation systems, namely: objectivity, representativeness, retrospectivity, promptness, scalability, complexity, universality and interoperability, dynamism, suitability for mathematical-statistical processing, modeling and forecasting, integration into geographic information systems, transparency and the possibility of data verification, and flexible multi-level transfer of research results and corresponding solutions into the production sphere. Based on the results of a systematic retrospective analysis of scientific sources regarding remote agroecological monitoring in Ukraine, it has been established that in the last decade, a rapid growth of interest of the scientific community in this field of study has been observed. The leading scientific institution that works on satellite agroecological monitoring in Ukraine is the Institute of Agroecology and Environmental Management. Ukrainian science in this field is problem-oriented. The main attention of Ukrainian agroecologists is focused on the problems of erosion, degradation, and preservation of soil fertility, monitoring the state of agroecosystems and agroclimatic influences

using both traditional vegetation indices (NDVI) and some specific indices (NDSI, BSI, EVI-S) to perform more detailed narrow-profile research. In general, the results of the systematic literature review testify to the rapid development of the field of agroecological remote monitoring and the aspiration of the domestic scientific community to reorganize the national sector of environmental research according to international standards and technologies. The main gaps in modern agroecological monitoring in Ukraine are an insufficient scientific-methodological base and regulatory-legal regulation of environmental monitoring by means of remote sensing, as well as a fairly limited range of used parameters and technical means, especially machine and deep learning technologies, for the implementation of high-quality multifaceted monitoring of the state of agroecosystems at all levels (soil, water resources, climate, plants, etc.).

Key words: *agroecology, geoinformation system, monitoring ecological processes in agroecosystems, scientific bases, space monitoring.*

Постановка проблеми. Агроекологічний моніторинг – основа сталого розвитку сільського господарства. Спостереження за поточним станом і динамічним розвитком агроєкосистем є важливою передумовою розробки та впровадження оптимальних з точки зору раціонального природокористування агротехнологій. Відрив інтенсифікації агропромислового комплексу від агроекологічного підґрунтя – шлях до ірраціонального використання природних ресурсів, що є неприпустимим у сучасну епоху глобальних екологічних викликів. Дефорестація, опустелювання, зниження біорозмаїття, забруднення природних ресурсів і їх гострий дефіцит, стрімкі непрогнозовані зміни метеорологічної ситуації та клімату, зниження родючості ґрунтів – усе це наслідки десятиліть без наказаного експлуатування довкілля без урахування негативного впливу індустріальної діяльності людини на стан планети [52]. Для забезпечення сталого екологічно безпечного та ефективного розвитку сільського господарства конче необхідною є система агроекологічного моніторингу довкілля, яка повинна відстежувати особливості реакції природних і штучних екосистем, залучених в аграрне виробництво, на ті чи інші фактори впливу антропогенного (технологічні, організаційні) та природного (кліматичні) походження [58]. Сучасний агроекологічний моніторинг повинен забезпечувати виконання таких критеріїв як об'єктивність (незалежність від суб'єктивної точки зору спостерігача), захищеність від помилок і репрезентативність, ретроспективність (можливість відстежувати дані щодо стану екосистем і їх компонентів впродовж тривалого часу), оперативність (дані повинні надходити у максимально стислий період часу), масштабованість (здатність відстежувати явища на різних за своїми просторовими характеристиками екологічних об'єктах), комплексність (відстеження стану не лише окремих об'єктів, а екосистеми в цілому для забезпечення можливості встановлювати взаємозв'язки), універсальність та інтероперабельність (формат даних, одиниці виміру, методичні підходи, платформи мають бути уніфіковані та загальноприйняті для всіх країн світу), динамічність (можливість відстежувати розвиток досліджуваного об'єкта або явища), придатність даних до математико-статистичної обробки, моделювання та прогнозування, висока інтегрованість у геоінформаційні системи (ГІС), прозорість і можливість верифікації даних, гнучкий багаторівневий трансфер результатів досліджень та відповідних рішень у виробничу сферу, тощо. Стандарти та методичні підходи до традиційного агроекологічного моніторингу, який виконується шляхом наземних зйомок, вимірювань, спостережень, аналізів, у різних країнах світу різняться через особливості науково-технічного розвитку, доступу до технологій, а також відповідно до історичного контексту розвитку науки. Таким чином, не дивлячись на те, що традиційний підхід все ще є еталонним у царині агроекологічного моніторингу, він має ряд недоліків, оскільки важко забезпечити оперативність,

масштабованість і універсальність в рамках конкретного дослідження або зйомки. Крім того, традиційний підхід вимагає високих капіталовкладень і затрат праці, що також робить його менш привабливим із економіко-організаційної точки зору, бо вже не може задовольняти сучасним критеріям високої економічної ефективності моніторингових робіт. Вирішити проблему всебічного агроекологічного моніторингу, який би водночас забезпечував максимальну відповідність вищевказаним критеріям і мав високу економіко-організаційну ефективність, дозволяють сучасні технології дистанційного зондування Землі, які починаючи з 70-х років минулого століття набирають обертів у сільськогосподарській та еколого-географічній науково-практичних сферах застосування завдяки дослідженням у сфері моніторингу вегетаційного покриву [56].

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – це сукупність методичних, технологічних і технічних засобів і прийомів, які використовуються для спостереження за станом планети, наземних об'єктів і явищ, що відбуваються безпосередньо на поверхні землі або у приземних шарах атмосфери, без прямого втручання та прямої взаємодії з об'єктами, що забезпечується спеціальною знімальною апаратурою – сенсорами – розташованими на аерокосмічних апаратах і штучних супутниках. Інформація, зчитувана аерокосмічними сенсорами, являє собою знімки різної роздільної та просторової здатності, які відображають інтенсивність відбиття наземними або атмосферними об'єктами випромінювання у різних світлових або електромагнітних спектрах. На основі розрахункового співвідношення між величинами спектральних каналів супутникових зображень можна робити висновок про спектральні, а отже, реальні фізичні, хімічні, біологічні властивості досліджуваних об'єктів або явищ [19]. На початкових етапах залучення даних ДЗЗ важливо виконувати калібрування, налаштування та адаптацію аерокосмічної інформації для побудови якісних і реалістичних моделей відстеження властивостей досліджуваних об'єктів. Це виконується шляхом поєднання та математико-статистичного опрацювання даних супутникового моніторингу і відповідних даних натуральних спостережень і зйомок для уточнення [15].

Перші дослідження із залучення дистанційного моніторингу екологічних об'єктів і процесів було започатковано ще у XIX ст. [13]. Втім, сплеск інтересу до технології в світовому масштабі припадає на 70-80-ті роки XX століття, коли почали з'являтися перші ґрунтовні наукові праці, які підтверджували можливість ефективного опису стану наземних об'єктів за результатами спектрального аналізу аерофотознімків. Щодо сучасної України, наукова робота з теорії та практики дистанційного зондування Землі тут проводиться впродовж останніх 50 років [38]. Піонерами залучення даних ДЗЗ у сільське господарство є науковці Українського державного науково-дослідного, проектно-технологічного інституту з прогнозування і дистанційного зондування агрономічних ресурсів; вони розробили основоположні концепції щодо даних ДЗЗ в системі агроекологічного моніторингу, а також запропонували першу національну методіку залучення супутникового моніторингу до відстеження стану посівів сільськогосподарських культур. Після закриття цього Інституту, методологію підхопив і розвивав Інститут статистики Державного комітету статистики України [3, 36, 50]. Втім, починаючи з 80-х років XX і до 10-х років XXI століття, на превеликий жаль, українська аграрна наука призупинила розвиток теорії та практики дистанційного агроекологічного моніторингу, що негативно позначилося на розвитку національного агропромислового комплексу: донині Україна вимушена наздоганяти європейський і американський досвід і наукову базу залучення ДЗЗ в галузь сільського господарства, а також

використовує для більшості практичних задач закордонне програмне забезпечення та залежить від супутникової інформації, що надається на комерційній основі закордонними супутниковими системами. Втім, варто відзначити бурхливий сплеск теоретико-методологічних фундаментальних і прикладних досліджень із цієї тематики в останні роки, що напряму пов'язано із виконанням Програми наукових досліджень НААН №7 «Супутниковий агроекологічний моніторинг, управління агроресурсами та прогнозування впливу змін клімату на продуктивність агроecosистем» («Агрокосмос»), над виконанням якої в період 2021-2025 рр. працювали передові науковці Інституту агроекології та природокористування, Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства та Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О. Н. Соколовського».

Варто наголосити, що існують різні тематичні напрямки аерокосмічного моніторингу в сільському господарстві, а саме: земельно-кадастровий моніторинг, моніторинг фітосанітарного стану посівів, меліоративний моніторинг, моніторинг водних об'єктів, агрокліматичний моніторинг, моніторинг продуктивності сільськогосподарських культур і земель, тощо. Агроекологічний моніторинг посідає своє особливе місце серед напрямів сільськогосподарського моніторингу, а тому вимагає розробки та впровадження специфічних теоретико-методологічних підходів.

Постановка завдання. Метою даної роботи є виконати систематичний ретроспективний аналіз методичних підходів до використання ДЗЗ в агроекологічному моніторингу сільськогосподарських земель в Україні та світі, визначити тренди та прогалини в сучасному агроекологічному моніторингу сільськогосподарських земель і окреслити перспективні напрямки розвитку технологій.

Матеріали і методи. Методологічно аналітико-синтетичний систематичний ретроспективний огляду літературних джерел щодо фундаментальних і прикладних результатів наукових досліджень із тематики залучення ДЗЗ в агроекологічного моніторингу в Україні охоплювала такі основні етапи:

1) Формування загального списку наукових літературних джерел із досліджуваного питання. Для цього використовували 6 запитів на платформі Google Scholar, а саме: «агроекологічний моніторинг за даними дистанційного зондування», «супутниковий агроекологічний моніторинг», «аерокосмічний агроекологічний моніторинг», «вегетаційні індекси агроекологічний моніторинг», «супутникові індекси агроекологічний моніторинг», «ґрунтові індекси агроекологічний моніторинг». За результатами запитів було одержано та переглянуто 1330 джерел.

2) Відповідність тематиці дослідження. Запропоновані пошуковою системою джерела було переглянуто та оцінено на відповідність тематиці супутникового агроекологічного моніторингу сільськогосподарських земель в Україні та такі, які не відповідали тематиці (наприклад, які не містили інформації про дослідження із залученням аерокосмічних даних, або такі, які не містили інформації про власне агроекологічний моніторинг або стосувалися інших регіонів і держав) дослідження, вибракували.

3) Відбір джерел за критеріями: рецензоване періодичне видання, монографія, наявність доступу до повного тексту публікації. Публікації, які не належали до зазначених категорій (наприклад, матеріали конференцій, методичні вказівки, реферати дипломних робіт, тощо) або такі, для яких неможливо отримати доступ до повного тексту, відкидалися як невідповідні.

4) Формування фінального списку джерел і бази даних. Після етапів вибракування, було сформовано кінцевий список наукових літературних джерел, які

будуть використані в систематичному аналізі. Таких джерел нараховано 54. Для всіх джерел завантажено повнотекстові версії документів.

5) Формування списку авторів, ключових слів. Сформовано загальний список усіх ключових слів із завантажених джерел і список усіх авторів. Виконано мовну стандартизацію прізвищ авторів і ключових слів, тобто виконано академічний переклад неукраїномовних слів і прізвищ в оригіналі публікацій українською.

6) Програмна обробка даних. Із використанням власних скриптів Python 3 виконано аналіз ключових слів на предмет частоти їх повторюваності та побудовано хмару ключових слів. Виконано розподіл і графічне ранжування наукової літератури за роками. Щодо авторів, встановлено п'ятірку найбільш активних науковців, що присвятили свою увагу питанню дистанційному агроекологічному моніторингу сільськогосподарських земель України, побудовано відповідні наочні матеріали.

7) Формування аналітико-синтетичного узагальненого змісту відібраних наукових джерел за основними доменами дистанційного агроекологічного моніторингу із використанням мови програмування та хмарних обчислень Wolfram One.

8) Визначення трендів розвитку техніко-технологічного та науково-методичного забезпечення агроекологічного моніторингу в Україні, окреслення головних прогалів і встановлення перспективних напрямків науково-дослідної роботи із даної тематики.

Виклад основного матеріалу дослідження. В першу чергу варто зупинитися на історичному аналізі розвитку зацікавленості наукової спільноти України у розвитку та розробці наукової методології залучення даних супутникового моніторингу в агроекологічну сферу. Ретроспективний аналіз публікаційної активності українських науковців свідчить про істотний кількісний стрибок починаючи з 2016 року, у той час як до цього періоду спостерігається спорадична поодинока активність наукової спільноти стосовно супутникового агроекологічного моніторингу. Так, середня кількість публікацій на рік у період зародження зацікавленості в аерокосмічних технологіях в аграрних і екологічних науках, а саме за 1997-2015 рр., становить 0,56; у той час як у період 2016-2025 рр. (останнє десятиліття) – 4,40 (Рис. 1). Стрімке зростання інтересу наукової спільноти до інтеграції даних дистанційного зондування в агроекологічні дослідження зумовлене насамперед критичною ресурсомісткістю та високою вартістю традиційних наземних обстежень, які вимагають значних витрат часу, праці, відповідних кваліфікованих кадрів та спеціалізованого обладнання і лабораторної обробки. Водночас застосування методів дистанційного зондування забезпечує можливість переходу до безперервного, оперативного та динамічного моніторингу агроecosystem у різних просторово-часових масштабах. Це дозволяє не лише мінімізувати суб'єктивізм польових вимірювань, а й забезпечити високий ступінь стандартизації та уніфікації форматів даних, що є критично важливим для їхнього довготривалого зберігання, інтеграції в ГІС-платформи, автоматизованої обробки за допомогою алгоритмів машинного навчання та оперативного обміну міждослідними інституціями. Найближчими роками з високою вірогідністю можна очікувати на подальше підвищення активності української наукової спільноти з питань супутникового агроекологічного моніторингу, про що свідчить лінійний тренд, розрахований для всього періоду ретроспективного огляду літератури (довірчий інтервал розрахунку – 95%).

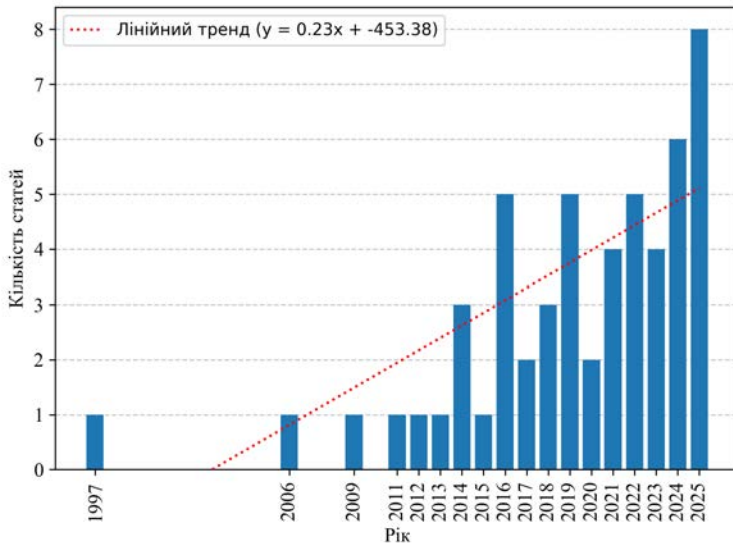


Рис. 1. Розподіл наукових публікацій, присвячених питанням дистанційного агроекологічного моніторингу в Україні

Крім розподілу публікаційної активності за роками, цікавим з аналітичної точки зору є розподіл між авторами наукових матеріалів. Встановлено п'ятірку найбільш активних науковців, до яких належать: Льшенко Т. В. (10 публікацій), Тараріко О. Г. (9 публікацій), Кучма Т. Л. (7 публікацій), Лиховид П. В. (6 публікацій) та Власова О. В. (5 публікацій). Причому вищезазначені автори загалом фактично формують 27,0% усієї наявної на даний момент наукової інформації щодо дистанційного агроекологічного моніторингу та його науково-практичної імплементації в Україні (Рис. 2).

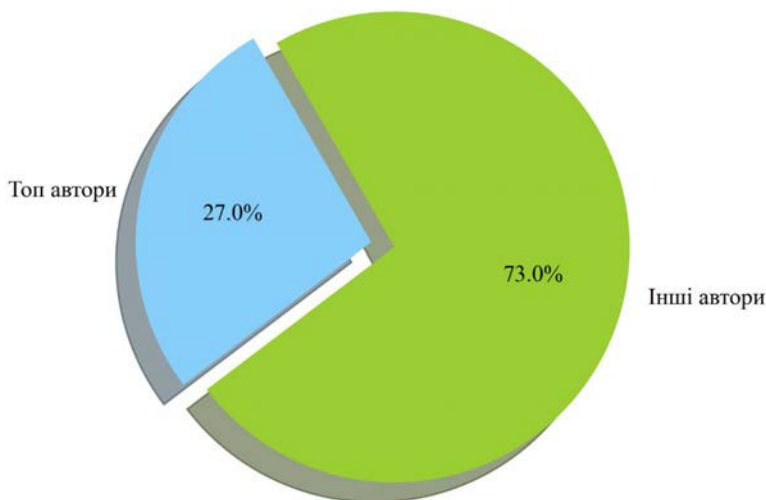


Рис. 2. Розподіл публікацій щодо залучення даних аерокосмічного моніторингу в агроекологічних дослідженнях за авторами

таких дисциплін як власне агрономія, екологія та інформаційні технології і кібернетика, оскільки ці технічні терміни свідчать про прагнення до міждисциплінарної інтеграції та комплексного підходу до аналізу просторових даних і прогнозуванню сценаріїв подальшого розвитку агроекологічної ситуації відповідно до поточного стану і впливових факторів. Наявність термінів «грунтове обстеження» та «картування ґрунтів» поряд із дистанційними методами вказує на синергію: українські дослідники намагаються поєднувати супутникові дані з традиційними наземними еталонними методами оцінки стану агроєкосистем, що підвищує верифікацію результатів. В цілому, розроблена хмара ключових слів свідчить про те, що українська наука у сфері дистанційного агроекологічного моніторингу є скоріше проблемно-орієнтованою, ніж суто теоретичною. Основна увага дослідників зосереджена на використанні супутникових технологій для боротьби з деградацією земель, збереження їх продуктивного та біологічного потенціалу, а також адаптації агроєкосистем до сучасних викликів, пов'язаних зі змінами клімату.

Для поліпшення критичного аналізу наукових здобутків і сфери інтересів українських науковців у рамках галузі супутникового агроекологічного моніторингу, пропонуємо виконати попередній розподіл цього комплексного та багатогранного напрямку на окремі відносно самостійні та специфічні домени. Враховуючи особливості агроекологічного моніторингу та зміст наукових публікацій, виділено 11 самостійних доменів (Рис. 4). Надалі коротко зупинимо увагу на кожному із доменів для визначення його ключової специфіки, повноти наукового вивчення, наявних прогалів, перспективи і затребуваності подальших досліджень із науково-теоретичної (фундаментальної) та практичної (прикладної) точок зору.

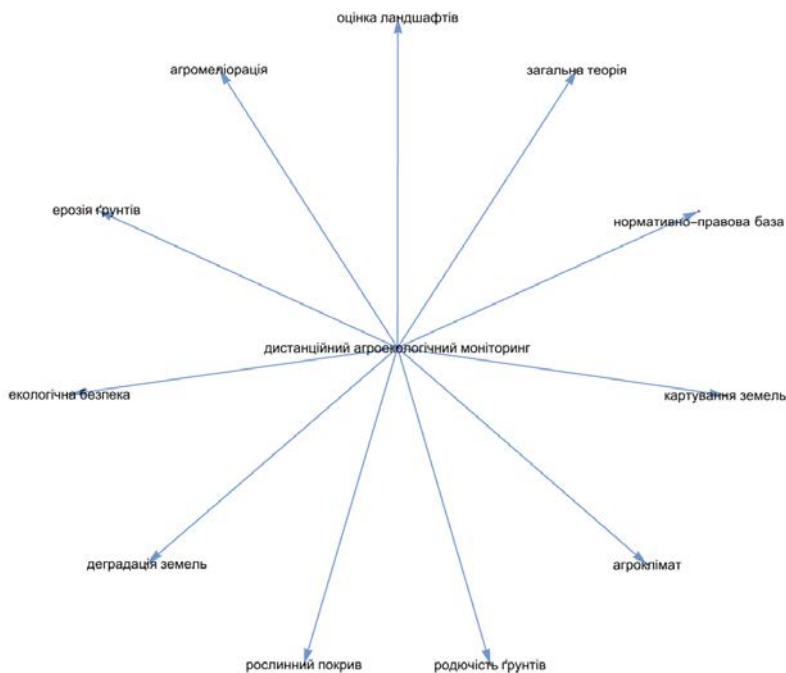


Рис. 4. Домени дистанційного агроекологічного моніторингу

Питання загальної теорії та науково-методичних засад дистанційного агро-екологічного моніторингу – основа всієї подальшої роботи у даній галузі науки і техніки. Тож недарма найбільша кількість фундаментальних наукових праць українських вчених присвячена саме цим питанням. Мудрак et al. (2024) зазначають, що на тлі стрімкої деградації та втрати родючості ґрунтів України, втрати біорозмаїття через неефективні практики господарювання та землекористування, конче необхідною є абсолютно нова концепція агроекологічного моніторингу, який буде задовольняти критеріям оперативної динамічної оцінки рівня забруднення основних складових агроландшафтів на різних рівнях і різними (біологічними, хімічними, радіоактивними) забруднювачами, дозволить провести ефективне вивчення міграції і трансформації токсинів у комплексній агроєкосистемі, де ґрунт і рослина є вихідною ланкою, а продукція і людина як споживач – кінцевими. Автори наводять механізми залучення даних із різних джерел, включаючи супутникові, у систему комплексного агроекологічного моніторингу, та пропонують чітку стратегію впровадження концепції у наукове та практичне життя вітчизняної агроєкології [29]. Фурдичко et al. (2022) розробили концепції та навели переконливі результати ефективності залучення даних дистанційного зондування Землі для агрокліматичного моніторингу та прогнозування впливу змін клімату на продуктивність сільськогосподарських культур. Авторами доведено, що супутникові дані при належній обробці та аналізі є цінним джерелом інформації про рівень вологозабезпечення посівів, прояви процесів опустелювання та ерозійної деградації ґрунтів, а також можуть бути використані у моделях машинного навчання для прогнозування врожайності сільськогосподарських культур [45]. У результаті аналітичної роботи вітчизняних науковців встановлено великий рівень невідповідності сучасної теорії і практики використання даних аерокосмічного моніторингу в Україні міжнародним практикам і стандартам, що вимагає інтенсифікації досліджень у даній сфері для посилення конкурентоспроможності вітчизняної агроєкологічної науки на світовому ринку [44].

Науковці свідчать, що сучасна парадигма агроєкологічного моніторингу в Україні базується на інтеграції супутникових даних та ГІС-технологій, що дозволяє перейти від трудомістких і дорогих традиційних методів спостереження до високоефективного дистанційного зондування Землі. Науково-методичні засади цього напрямку, зокрема, реалізовано в рамках виконання програми наукових досліджень Національної академії аграрних наук України «Агрокосмос» впродовж 2021-2025 рр. Реалізація програми забезпечує теоретичний базис для виконання об'єктивного аналізу структури агроландшафтів, стану посівів через супутникові вегетаційні індекси та розробку стратегій адаптації до глобальних кліматичних змін [28, 38]. Ефективність таких систем напряму залежить від точності технічного забезпечення аерокосмічного моніторингу в системах точного цифрового землеробства [17], а також вимагає створення розгалуженої мережі підсупутникових тестових полігонів, адаптованих до міжнародних стандартів CORINE Land Cover, для валідації результатів модельних досліджень і верифікації космічної інформації [14]. Водночас, використання супутникових даних є ключовим інструментом для моніторингу сільськогосподарських угідь на державному рівні, сприяючи автоматизації управління земельними ресурсами та наповненню Державного земельного кадастру [12].

Глобальна цифровізація аграрного сектору, що включає впровадження Big Data, IoT та хмарних платформ, виступає стратегічним чинником підвищення конкурентоспроможності та продовольчої безпеки України, попри існуючі інфраструктурні

та кваліфікаційні бар'єри [25]. Фундаментальні дослідження підтверджують, що супутникові дані дозволяють не лише прогнозувати врожайність зернових культур в умовах зростаючої посушливості клімату [21], але й оперативно оцінювати деградацію ґрунтів і катастрофічні наслідки воєнних дій, зокрема ідентифікувати вплив підриву Каховської ГЕС та прямих пошкоджень земельного покриву внаслідок бойових дій і негативного техногенного впливу на землі сільськогосподарського призначення [37]. Таким чином, дані дистанційного зондування Землі інтегруються у комплексні системи підтримки прийняття рішень в агрономії та агроекології, а наукові засади раціонального агроекологічного моніторингу сільськогосподарських земель є запорукою сталого природокористування.

Особливу увагу заслуговують технології використання аерокосмічних даних у картуванні та зонуванні сільськогосподарських земель. Так, Ачасов & Ачасова (2011) довели, що аерокосмічні знімки, виконані у спектральному діапазоні видимого світла є цілком придатними для картування ґрунтів і визначення неоднорідності ґрунтового покриву [1]. У свою чергу, Підлипна (2016) підтвердила можливість залучення супутникових знімків Landsat у комплексі з програмним забезпеченням ERDAS Imagine для здійснення первинного зонування та картування земель, що істотно поліпшує ефективність і якість ведення земельного кадастру, облік і моніторинг використання територій [34]. Lykhovyd et al. (2024) засвідчили, що залучення супутникових мультиспектральних індексів NDVI, NDWI, NRI, які відповідають за загальний стан рослинного покриву, вологозабезпеченість і забезпеченість азотом, у форматі комплексного індексу агроекологічного зонування AEZI є перспективним для виконання масштабного агроекологічного районування сільськогосподарських земель за ознакою ступеню їх придатності до вирощування конкретних видів культурних рослин. У роботі було використано супутникові знімки сателітів Sentinel-2 та Landsat-8 із середньою роздільною здатністю. За результатами наукових досліджень розроблено шкалу інтерпретації величини індексу AEZI та створено базу даних «Agroecological Zoning of the Steppe Zone of Ukraine v.1.00» [22, 55]. Чорний (2020) запропонував методику залучення аерокосмічних знімків у картуванні та встановленні ступеня еродованості чорноземних ґрунтів. Науковець наголошує на необхідності паралельної оцінки вегетаційних індексів GNDVI, NDVI та EVI, які хоча і не мають прямого відношення до оцінки властивостей ґрунтового покриву, але дозволяють опосередковано за станом рослин робити оцінку властивостей ґрунтів на досліджуваних ділянках. Так, наприклад, він довів, що у фази «початку бутонізації», «бутонізації» та «цвітіння» соняшнику на еродованих ґрунтах і схилах величина вегетаційного індексу GNDVI суттєво менша ніж на нееродованих, що дозволяє опосередковано оцінювати ступінь деградації земель і виконувати їх картування [47].

Щодо моніторингу еродованості ґрунтів, перші методичні підходи до дистанційного визначення ерозійно небезпечних ділянок знаходимо у роботі Биндич (2014) [4]. Запропонований підхід дешифрування аерокосмічних даних дозволяє виявити лінійні форми ерозії та зони з найбільшою вірогідністю проявів площинної ерозії. Трускавецький et al. (2015) відзначають можливість залучення даних дистанційного зондування Землі для отримання цифрових моделей рельєфу та визначення лінійної ерозії ґрунтів з основним фокусом на водній ерозії [43]. Ачасов & Ачасова (2020) вивчали особливості розпізнавання проявів водної ерозії за даними супутникового моніторингу, і дійшли висновків, що не дивлячись на ефективність сучасних методичних і технологічних підходів до інтерпретації ерозійно небезпечних ділянок за аерокосмічними знімками, на сучасному етапі

дешифрування проявів водної ерозії та інвентаризація ерозійних форм рельєфу все ще неможлива без контролю кваліфікованої людини-аналітика для виключення похибок [2]. У той же час, група інших дослідників розробила за даними космічної цифрової моделі рельєфу карту розподілу індексу інтенсивності ерозійних процесів та визначили потенційно небезпечні ерозійні ділянки, що підтверджує перспективність методичного підходу [24]. Тараріко et al. (2021) використали дані Sentinel-5P для аналізу поширення пилової бурі в зоні Полісся, а також пов'язаних із нею проявів вітрової ерозії ґрунтів зони [39].

Дотичним до моніторингу ерозії ґрунтів є контроль і спостереження за ступенем деградації земель. Науковці зазначають, що дані дистанційного зондування Землі є важливим інформаційним ресурсом виявлення та оцінки ризиків деградації земель, втрати біорозмаїття та зміни меж агроландшафтів. Автори дослідження стверджують, що традиційна система агроекологічного моніторингу є недосконалою [57]. Використання супутникових даних сателіту Sentinel-1 дозволило уточнити критичні зони деградації сільськогосподарських земель, пов'язаної з ерозією, а також встановити чіткі ареали, які потребують виключення з сільськогосподарського використання та консервації для попередження розвитку незворотного ступеня їх деградації. Тараріко et al. (2025) сформулювали основні вимоги до даних аерокосмічного моніторингу, які використовуються для спостереження за рівнем опустелювання сільськогосподарських земель, а саме: просторова здатність від 1-30 м для детального та до 1000 м – для регіонального моніторингу; періодичність надходження нових знімків від 5 до 16 діб; рекомендовані джерела – Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat, MODIS [41]. Авторським колективом розроблено науково-методичні засади застосування ГІС-технологій у тандемі з даними аерокосмічної зйомки для виконання моніторингу деградації та опустелювання сільськогосподарських земель, а також запропоновано методи оцінки ефективності систем землекористування і заходів з охорони ґрунтового покриву, надано практичні рекомендації щодо використання супутникових даних і ГІС-технологій для оцінки проявів водної ерозії та прогнозування ризиків ерозійної деградації земель [40]. Браславська et al. (2025) наголошують, що традиційні методи оцінки деградації сільськогосподарських земель, зокрема польові зйомки, є трудомісткими та вимагають високих капіталовкладень, що обумовлює необхідність залучення супутникових технологій моніторингу. Зокрема, автори дослідження підкреслили, що застосування спектральних індексів NDVI, NDSI, BSI у комбінації з супутниковою величиною температури поверхні ґрунту LST дозволяють ефективно динамічно оцінювати параметри вологості ґрунту та ступеню його ушкодження внаслідок бойових дій, а також особливості розвитку рослинного покриву. Науковці запропонували дворівневу модель агроекологічного супутникового моніторингу, що поєднує аерокосмічні дані та геопросторовий аналіз за алгоритмами ансамблевого машинного навчання [6]. Казаченко & Казаченко (2014) були одними з піонерів дистанційного моніторингу стану деградованих та ерозійно небезпечних земель на Харківщині та довели ефективність і точність підходу із залучення супутникових даних до спостереження і контролю розвитку зазначених екологічних процесів [16]. Мошинський & Вознюк (2025) виконали перспективне дослідження залучення вегетаційних супутникових індексів, розрахованих за знімками Sentinel-1 та Sentinel-2, і методів ансамблевого навчання до моніторингу ущільнення верхнього шару ґрунту та встановлення загального рівня його деградації [26]. За результатами роботи інших українських дослідників встановлено, що залучення інтегрованого підходу до моніторингу опустелювання агроecosистем,

що базується на ефективному поєднанні даних супутникової зйомки, математичних моделей і ГІС-технологій є найбільш перспективним напрямком розвитку наукового агроекологічного моніторингу [7]. Потребують розширення та удосконалення методики симуляційного та прогностичного моделювання, а також тісна інтеграція українського сектору в міжнародну наукову спільноту.

Екологічна безпека агроландшафтів – особливий домен агроекологічного моніторингу, який набув особливої актуальності в останні роки не тільки за рахунок стрімких кліматичних змін і пов'язаних із ними супутніх процесів деградації екосистем і зсувів у біорозмаїтті, але й внаслідок активних тривалих бойових дій, що мають місце на території півдня та сходу України. На жаль, саме ця галузь є висвітленою науковцями мінімально. Бондар et al. (2022) досліджували проблематику залучення аерокосмічних даних для оцінки рівня екологічних збитків територій внаслідок російсько-української війни і дійшли висновків, що даний спосіб є перспективним для масштабної та точної фіксації негативного впливу на довкілля та рівня руйнації як природних, так і антропогенних об'єктів. Авторами запропоновано не тільки методологічні підходи для здійснення дистанційного екологічного моніторингу наслідків бойових дій, але і системний підхід до його стандартизації та нормативного врегулювання, здійснено оцінку економіко-організаційної ефективності такого підходу та детально окреслено потенційні можливості та ліміти супутникового моніторингу екосистем [5]. Кучма & Сиротенко (2014) вивчали питання оптимізації структури сільськогосподарських земель із залученням даних супутникового моніторингу для оперативної динамічної оцінки біорозмаїття, забезпечення екологічної стійкості та відтворення природного стану пошкоджених агроекосистем [20].

Агроекологічний моніторинг рослинного покриву, зокрема, стану посівів сільськогосподарських культур, за даними дистанційного зондування є чи не найбільш широко висвітленим у працях вітчизняних науковців. Так, розраховані за супутниковими знімками з різних мультиспектральних сателітів, таких як Sentinel-2, Landsat-8, MODIS, вегетаційні індекси (NDVI, EVI, EVI2, EVI-S, SAVI, тощо) дозволяють ефективно відстежувати динаміку ростових процесів культурних рослин, загальний фітосанітарний стан і забезпеченість агрофітоценозів елементами живлення, а також виконувати деталізоване картування та прогнозування продуктивності агроекосистем [8, 23, 31]. Цікавими є результати дослідження Пащенко & Марюшко (2024), які довели, що розрахункова величина NDVI істотно корелює з яскравістю спутникових знімків, за якими ведеться розрахунок, а тому цей фактор важливо враховувати під час виконання та валідації наукових робіт із залученням зазначеного вегетаційного індексу [33]. Ними ж доведено, що виконання фрактального аналізу космічних знімків Sentinel-2 дозволяє виконувати оцінку аномалій і загального стану сільськогосподарських земель [32].

Стосовно моніторингу ґрунтів і сільськогосподарських земель в цілому, Яцук et al. (2016) запропонували доповнення та правки до існуючої «Концепції моніторингу ґрунтів для збереження екологічних функцій як ґрунтового різноманіття», наголосили про необхідність створення Червоної книги ґрунтів України та запропонували розширене впровадження засобів дистанційного зондування Землі у сфері агроекологічного моніторингу [51]. Романко (2013) запропонував загальні положення моделі оцінки змін стану родючості ґрунтів за даними супутникових знімків [35]. Нехай & Литвинов (2016) розробили концепції залучення інформаційних технологій і технологій комп'ютерної обробки даних у систему агроекологічного моніторингу родючості ґрунтів [30]. Власова (2018) була однією з перших,

хто розробив і запропонував до використання картографічні моделі оцінки меліоративного стану і родючості ґрунтів за величинами спектральних характеристик супутникових знімків у різних діапазонах випромінювання [9–11]. Чорний & Абрамов (2016) вперше виконали оцінку вмісту гумусу в чорноземі південному за даними мультиспектральних супутникових знімків сателіту Landsat-8 [46]. Теорію залучення даних дистанційного зондування у тандемі з методами машинного навчання продовжено в роботі інших українських науковців, де виконано прогностичну оцінку вмісту гумусу в орному шарі темно-каштанового ґрунту на півдні України за даними розрахункового супутникового NDVI. Доведено і можливість залучення аерокосмічних знімків і для встановлення меліоративного стану ґрунтів півдня України, а саме – вмісту солей у орному шарі ґрунту з високою точністю (понад 95%) [53, 54].

Власова (2018) є автором науково-методичних основ залучення аерокосмічного зондування Землі у сферу агро меліоративного моніторингу; вона доводить чітку кореляцію між наземними та космічними даними про стан ґрунтів, що є ядром концепції дистанційного моніторингу останніх [10–11]. Крім того, вона є серед авторів концепції дистанційного моніторингу вологозабезпеченості ґрунтів України [48]. Пізніше Шевченко et al. (2019) розвинули теоретичну концепцію залучення аерокосмічних даних у сферу моніторингу водних об'єктів і загальних характеристик меліорованих ґрунтів [49]. Ковальчук & Войтович (2021) успішно використали величини індексів засолення VSSI, NDSI та SI, розрахованих за мультиспектральними знімками супутника Landsat-8, для оцінки ступеня засоленості ґрунтів Ігулецького зрошуваного масиву та коригування меліоративних заходів щодо протидії вторинному засоленню [18].

Мудрак et al. (2024) присвятили велику увагу вивченню питання дистанційного моніторингу за несприятливими кліматичними явищами, наприклад, розвитку посухи на Запоріжжі. Для аналізу агрокліматичної ситуації в області автори використовували супутникові індекси NDVI та NDWI, що дало змогу встановити вплив кліматичної посухи на ріст і розвиток культурних рослин у регіоні, а також встановити посилення дефіциту вологозабезпеченості посівів [27].

Щодо нормативно-правової бази дистанційного агро екологічного моніторингу, значну увагу цьому питанню присвятили Ткачук & Мазур (2025), які провели детальний аналіз чинної законодавчої та нормативно-правової бази порядку проведення моніторингу земель та ґрунтів в Україні, а також надали власні критичні пропозиції, чітко окреслили суб'єктів і об'єктів моніторингу [42].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Супутникові дані у форматі мультиспектральних індексів (NDVI, EVI, VSSI, NDWI тощо) стали невід'ємною складовою сучасного агро екологічного моніторингу в Україні, забезпечуючи об'єктивний, оперативний огляд як природних, так і антропогенних змін ґрунтів та рослинного покриву. Дослідження, виконані українськими науковцями засвідчили, що розрахункові індекси тісно корелюють із візуальною яскравістю аерокосмічних знімків, що підкреслює важливість їхньої валідації при виконанні моніторингу та плануванні агро екологічних заходів. Розширені моделі, що поєднують спектральні характеристики з машинним навчанням, досягають високої точності щодо характеристики таких агро екологічних параметрів як ступінь деградації та засоленості ґрунтів, процеси опустелювання земель та прояви ерозійних змін, стан родючості та забезпечення агрофітоценозів елементами живлення, характеристики кліматичних умов і рослинного покриву, та відкриває нові можливості для гнучкого динамічного та оперативного управління станом сільськогосподарських

земель і агроландшафтів, виконувати високоточне прогнозування і моделювання стану та продуктивності агроєкосистем. Водночас, розробка нормативно-правового базису і наукової концепції сучасної національної системи агроекологічного моніторингу в Україні свідчать про певний рівень обмеженості вітчизняного техніко-технологічного, правового та науково-методичного секторів галузі. Науковці вказують на необхідність стандартизації методик супутникових спостережень за довкіллям із урахуванням міжнародних стандартів і практик, створення спільної бази даних і правового регламенту для забезпечення довгострокової стійкості агроєкосистем. У сукупності ці дослідження підтверджують, що інтегроване використання супутникових індексів, гібридних моделей обробки даних і чітких нормативних рамок забезпечує надійний інструмент для управління природними ресурсами, реагування на кризові ситуації (ерозія, посухи, бойові дії, ірраціональне землекористування тощо) та підтримки аграрної продуктивності України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ачасов А. Б., Ачасова А. О. Методичні основи сучасного просторового моніторингу ґрунтів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія «Екологія»*. 2011. Вип. 944. С. 20–27.
2. Ачасов А. Б., Ачасова А. О. Особливості візуального дешифрування проявів водної ерозії за даними дистанційного зондування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. Вип. 33. С. 145–155. DOI: 10.26565/1992-4224-2020-33-13
3. Бабич С. М. Методичні аспекти аналітичного опрацювання інформації при аерокосмічному моніторингу посівів. *Система дослідження та моделювання в землеробстві: збірник наукових праць*. 1998. С. 300–313.
4. Биндич Т. Ю. Дистанційне визначення моніторингових ділянок на ерозійно небезпечних землях. *Агроекологічний журнал*. 2014. Вип. 4. С. 38–42. DOI: 10.33730/2077-4893.4.2014.344871
5. Бондар О. І., Фінін Г. С., Шевченко Р. Ю. Екологічні виклики воєнного часу: оцінка впливу на довкілля космічними системами дистанційного зондування та GPS-навігації. *Екологічні науки*. 2022. Вип. 4(43). С. 40–49. DOI: 10.32846/2306-9716/2022.есо.4-43.7
6. Браславська О. В., Грицик О. М., Рожі Т. А. Використання супутникових даних для оцінки деградації ґрунтів в аграрних регіонах України. *Просторовий Розвиток*. 2025. Вип. 13. С. 451–465. DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.451-465
7. Васильєв Д. П., Ільєнко Т. В. Моніторинг процесів опустелювання агроєкосистем за супутниковими даними: досвід та перспективи. *Агроекологічний журнал*. 2024. Вип. 3. С. 82–93. DOI: 10.33730/2077-4893.3.2024.311183
8. Васильєв Д. П., Ільєнко Т. В. Оцінка ефективності модифікованого індексу EVI-S у системі моніторингу рослинного покриву. *Агроекологічний журнал*. 2025. Вип. 2. С. 55–67. DOI: 10.33730/2077-4893.2.2025.333822
9. Власова О. В. Моделі формування спектральних характеристик меліорованих земель. *Агроекологічний журнал*. 2018. Вип. 2. С. 23–27. DOI: 10.33730/2077-4893.2.2018.157530
10. Власова О. В. Науково-методичні основи екологомеліоративного моніторингу агроландшафтів за даними дистанційного зондування Землі. *Збалансоване природокористування*. 2018. Вип. 1. С. 98–100. DOI: 10.33730/2310-4678.1.2018.276623
11. Власова О. В. Основи теорії взаємозамінності супутникової та наземної інформації в еколого-меліоративному моніторингу. *Biological Resources & Nature Management*. 2018. Vol. 10. P. 157–163. DOI: 10.31548/bio2018.03.020
12. Данкевич В. С., Данкевич Є. М. Моніторинг сільськогосподарських угідь із застосуванням систем дистанційного зондування земель. *Економіка АПК*. 2019. Вип. 8. С. 27–36. DOI: 10.32317/2221-1055.201908027

13. Довгий С. О., Лялько В. І., Бабійчук С. М. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посіб. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 315 с.
14. Дребот О., Тараріко О., Ільєнко Т., Кучма Т. Формування мережі тестових підсупутникових полігонів у системі агроекологічного моніторингу. *Вісник аграрної науки*. 2022. Вип. 100(5). С. 70–82. DOI: 10.31073/agrovisnyk202205-10
15. Зацерковний В. І., Кривоберець С. В. Система агроекологічного моніторингу ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. 2012. Вип. 25(1). С. 60–74.
16. Казаченко Л. М., Казаченко Д. А. Застосування даних ДЗЗ з метою виявлення деградації ґрунтового покриву для надання рекомендацій щодо раціонального використання ріллі. *Інженерна геодезія*. 2014. Вип. 61. С. 116–122.
17. Касім М. М., Васюхін М. І. Основні тенденції розвитку геоінформаційних навігаційних систем прецизійного землеробства в Україні. *Енергетика і автоматика*. 2016. Вип. 2. С. 64–73.
18. Ковальчук В. П., Войтович О. П. Визначення засоленості ґрунтів Інгулецької зрошувальної системи за супутниковими даними у системі управлінських заходів із хімічної меліорації. *Агроекологічний журнал*. 2021. Вип. 3. С. 33–43. DOI: 10.33730/2077-4893.3.2021.240319
19. Кривоберець С. В. Аналіз методів і знімальних систем ведення агроекологічного моніторингу. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2012. Вип. 2(57). С. 166–175.
20. Кучма Т. Л., Сиротенко О. В. Оцінювання ландшафтного різноманіття за даними дистанційного зондування Землі. *Агроекологічний журнал*. 2014. Вип. 1. С. 35–40.
21. Кучма Т., Тараріко О., Сиротенко О., Ільєнко Т. Агроекологічний супутниковий моніторинг: монографія. Київ: Аграрна наука, 2019. 204 с.
22. Лиховид П. В. Агроекологічна оцінка сільськогосподарських земель за даними дистанційного зондування Землі. *Зрошуване землеробство*. 2024. Вип. 81. С. 24–31. DOI: 10.32848/0135-2369.2024.81.4
23. Лиховид П. В., Вожегова Р. А., Грановська Л. М., Чабан В. О., Біднина І. О. Ukraine Stop Production Map – інтерактивна карта продуктивності сільськогосподарських культур та аналітичної оцінки агроекологічних умов України. *Таврійський науковий вісник*. 2025. Вип. 143(1). С. 172–178. DOI: 10.32782/2226-0099.2025.143.1.21
24. Лялько В. І., Єлістратова Л. О., Апостолов О. А., Чехній В. М. Аналіз ґрунто-ерозійних процесів в Україні на основі застосування даних дистанційного зондування Землі. *Вісник НАН України*. 2017. Вип. 10. С. 35–42. DOI: 10.15407/vsn2017.10.034
25. Мазур В. В. Особливості використання цифрових технологій в аграрному секторі України. *Агросвіт*. 2025. Вип. 9. С. 109–117. DOI: 10.32702/2306-6792.2025.9.109
26. Мошинський В. С., Вознюк С. А. Моніторинг ущільнення та деградації ґрунтів за супутниковими даними: огляд сучасних підходів і перспектив. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*. 2025. Vol. 2(110). P. 203–214. DOI: 10.31713/vs2202515
27. Мудрак О. В., Ганчук М. М., Скиба В. П., Циганов І. В., Ганчук К. О. Екологічний моніторинг розвитку посушливих процесів у Запорізькій області. *Збалансоване природокористування*. 2024. Вип. 4. С. 108–115. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2024.319400
28. Мудрак О. В., Морозова Т. В. Ефективність супутникових даних у системі агроекологічного моніторингу. *Агроекологічний журнал*. 2023. Вип. 3. С. 53–61. DOI: 10.33730/2077-4893.3.2023.287763

29. Мудрак О. В., Мудрак Г. В., Семенів В. С., Антонюк Ю. П., Рябокони О. В., Герасімова О. В. Екологічний моніторинг агросфери: теорія, методологія, практика. *Агроекологічний журнал*. 2024. Вип. 3. С. 26–37. DOI: 10.33730/2077-4893.3.2024.311178
30. Нехай В. В., Литвинов В. В. Ретроспективний аналіз інформаційних технологій моделювання та прогнозування стану родючості ґрунту. *Технічні науки та технології*. 2016. Вип. 3(5). С. 247–247.
31. Пасічник Н. А., Опришко О. О., Тараріко О. Г. Дистанційне зондування агрофітоценозів із платформи БПЛА для оцінки рівня живлення рослин. *Агроекологічний журнал*. 2021. Вип. 4. С. 75–81. DOI: 10.33730/2077-4893.4.2021.252958
32. Пашенко Р., Марюшко М. Моніторинг змін стану сільськогосподарських земель за даними фрактального аналізу космічних знімків. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2021. Вип. 3(65). С. 8–17. DOI: 10.26906/SUNZ.2021.3.008
33. Пашенко Р., Марюшко М. Оцінка впливу яскравості космічних знімків сільськогосподарських культур на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2024. Вип. 3(77). С. 5–10. DOI: 10.26906/SUNZ.2024.3.005
34. Підлипна М. П. Використання даних супутника Landsat за допомогою програмного забезпечення ERDAS Imagine для здійснення зонування земель. *Молодий вчений*. 2016. Вип. 2. С. 125–130.
35. Романко Р. М. Вдосконалення класифікації процесів змін стану земель на основі даних дистанційного зондування. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2013. Вип. 2. С. 210–217.
36. Сиротенко О. В. Система аерокосмічного сільськогосподарського агромоніторингу. *Система дослідження та моделювання в землеробстві: збірник наукових праць*. 1998. С. 286–293.
37. Тараріко О. Г., Дем'янюк О. С., Ільєнко Т. В., Солоха М. О., Лиховид П. В. Супутниковий інформаційний ресурс – сучасний потенціал для вирішення екологічних проблем агросфери України. *Збалансоване природокористування*. 2025. Вип. 1. С. 55–71. DOI: 10.33730/2310-4678.1.2025.328357
38. Тараріко О. Г., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л., Адамчук-Чала Н. І., Білокінь О. А. Формування науково-методичних засад супутникового агроекологічного моніторингу в Україні. *Агроекологічний журнал*. 2022. Вип. 2. С. 6–21. DOI: 10.33730/2077-4893.2.2022.263312
39. Тараріко О. Г., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л., Білокінь О. А. Ерозія ґрунтів як чинник опустелювання агроландшафтів України. *Агроекологічний журнал*. 2021. Вип. 3. С. 6–16. DOI: 10.33730/2077-4893.3.2021.240316
40. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Кучма Т. Л., Ільєнко Т. В. Аерокосмічний моніторинг опустелювання та деградації земель / за ред. О. І. Фурдичка. 2017. 55 с.
41. Тараріко О., Ільєнко Т., Васільєв Д. Вимоги до супутникових даних у системі геопросторового агроекологічного моніторингу. *Вісник аграрної науки*. 2025. Вип. 103(12). С. 54–63. DOI: 10.31073/agrovisnyk202512-06
42. Ткачук О. П., Мазур О. В. Екологічний аналіз основних положень нового порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів в Україні. *Екологічні науки*. 2025. Вип. 1(58). С. 164–172. DOI: 10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.28
43. Трускавецький С. Р., Вяткін К. В., Шерстюк О. І. Моніторинг ерозійних процесів за даними космічного знімання. *Агроекологічний журнал*. 2015. Вип. 3. С. 60–65.
44. Фурдичко О., Дребот О. Управління агроресурсами України засобами аерокосмічного дистанційного зондування: актуальність та перспективи. *Вісник аграрної науки*. 2019. Вип. 97(6). С. 5–12. DOI: 10.31073/agrovisnyk201906-01
45. Фурдичко О., Тараріко О., Ільєнко Т., Коковіхін С., Солоха М. Науково-методичні засади дистанційного агроекологічного моніторингу та прогно-

зування. *Вісник аграрної науки*. 2022. Вип. 100(4). С. 64–71. DOI: 10.31073/agrovisnyk202204-08

46. Чорний С. Г., Абрамов Д. А. Моніторинг вмісту гумусу у чорноземі південному з використанням багатоспектральних знімків супутників Landsat: просторові та тимчасові аспекти. *Грунтознавство*. 2016. Vol. 17(1-2). Р. 22–30.

47. Чорний С., Садова Д. Ш. Діагностика еродованих чорноземів південних за допомогою багатоспектральних супутникових зображень «Ландсат-8». *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 89. С. 83–89. DOI: 10.31073/acss89-09

48. Шевченко А. М., Власова О. В. Просторове оцінювання вологозабезпеченості агроландшафтів степової зони України. *Агроекологічний журнал*. 2012. Вип. 4. С. 35–38.

49. Шевченко А. М., Власова О. В., Удовенко В. В., Боженко Р. П. Розвиток науково-методичних основ оцінювання екологічного стану меліорованих земель і водних об'єктів. *Меліорація і водне господарство*. 2019. Вип. 2. С. 78–86. DOI: 10.31073/mivg201902-204

50. Шевченко А., Сиротенко О. Концепція аерокосмічного зондування агрономічних ресурсів в Україні. *Геодезія, картографія та аерофотознімання: міжвідомчий наук.-техніч. збірник*. 1997. Вип. 58. С. 149–151.

51. Яцук І. П., Дегтярьов В. В., Тихоненко Д. Г., Горін М. О. Моніторинг ґрунтів природних та агрокосистем як наукова основа збереження ґрунтового різноманіття. *Агроекологічний журнал*. 2016. Вип. 4. С. 57–66.

52. Adedibu P. A. Ecological problems of agriculture: impacts and sustainable solutions. *ScienceOpen preprints*. 2023. DOI: 10.14293/PR2199.000145.v1

53. Lykhovyd P. V. A case study on the possibility of soil meliorative state assessment by remote sensing data. *International scientific journal «Grail of Science»*. 2023. Vol. 27. Р. 226–230. DOI: 10.36074/grail-of-science.12.05.2023.034

54. Lykhovyd P. V. The use of spatial normalized difference vegetation index for determination of humus content in the soils of southern Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24(4). Р. 223–228. DOI: 10.12912/27197050/162698

55. 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. Р. 41–46.

56. Rouse Jr J. W., Benton Jr A. R., Toler R. W., Haas R. H. Three examples of applied remote sensing of vegetation. In *NASA Lyndon B. Johnson Space Center NASA Earth Resources Surveys Symposium*. 1975. Vol. 1-C. No. L-19.

57. Tarariko O., Iliencko T., Kuchma T., Novakovska I. Satellite agroecological monitoring within the system of sustainable environmental management. *Agricultural science and practice*. 2019. Vol. 6(1). Р. 18–27. DOI: 10.15407/agrisp6.01.018

58. Vikas, Ranjan R. Agroecological approaches to sustainable development. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024. Vol. 8. Р. 1405409. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1405409

Дата першого надходження статті до видання: 01.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026