

## ФОРМУВАННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ЗАСАД СУПУТНИКОВОГО АГРОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В УКРАЇНІ

О.Г. Тараріко, Т.В. Ільєнко, Т.Л. Кучма,  
Н.І. Адамчук-Чала, О.А. Білокінь

*Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)*

*e-mail: tarariko@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5132-0157*

*e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5406-5449*

*e-mail: tanyakuchma@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9328-5919*

*e-mail: nadiadamchuk@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7329-2698*

*e-mail: belokon.lena@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2750-5925*

*У статті представлено історичні аспекти розвитку дистанційного агроєкологічного моніторингу. Показано, що в процесі удосконалення супутникових датчиків, відкриття доступу до зарубіжних супутникових даних розширились можливості та ефективність використання результатів дистанційного зондування у науковій та природоохоронній діяльності, у виробництві безпечної сільськогосподарської продукції. Проаналізовано етапи формування науково-технічної програми супутникового агроєкологічного моніторингу «Агрокосмос», основні концептуальні положення, завдання та результати цього напрямку досліджень. Показано ефективність супутникової інформації з визначення структури агроландшафтів і систем землекористування, змін клімату, його впливу на стан посівів та забезпеченість їх вологою, продуктивність зернових культур. Розглянуто методичні підходи з виявлення і картування проявів процесів опустелювання, ерозійної деградації земель сільськогосподарського призначення та пов'язаних із ними негативних тенденцій. Зазначено, що сучасна супутникова інформація є важливим інструментом не тільки для удосконалення системи агроєкологічного моніторингу, але й для розробки і здійснення заходів із досягнення нейтрального рівня деградації ґрунтів, запобігання розвитку процесів опустелювання, а також адаптації до змін клімату. Доведено, що система супутникового агроєкологічного моніторингу потребує удосконалення у частині більш детальної класифікації окремих елементів агроландшафтів, а також удосконалення алгоритмів і методів з оброблення знімків для розширення можливостей використання цих даних для своєчасного надання рекомендацій з управління та оперативного корегування агротехнологій. Представлено основні напрями подальшого розвитку програми «Агрокосмос». Важливим питанням залишається посилення координації науково-дослідних робіт із дослідженнями наукових установ Національної академії наук, Державним космічним агентством, розвиток співробітництва із зарубіжними партнерами в рамках міжнародних проєктів. Актуальним завданням удосконалення інформаційного потенціалу використання даних дистанційного зондування Землі є створення національної мережі підсупутникових тестових наземних аграрних полігонів. Ефективне використання супутникових даних в управлінській, виробничій та науковій діяльності в сільськогосподарському виробництві потребує створення в рамках НААН та Мінагрополітики України міжвідомчого інформаційного-аналітичного центру «Агрокосмос».*

**Ключові слова:** *дистанційне зондування, агроландшафт, зернові культури, посіви, волога, зміни клімату, індикатори.*

### ВСТУП

У багатьох країнах постійно зростає як науковий, так і технологічний рівень використання супутникових даних у системі

оцінювання впливу господарської діяльності та змін клімату на природні- та агро-екосистеми, процеси опустелювання та деградації земель, втрати ландшафтного і біотичного різноманіття [1]. Важливим у цьому відношенні є удосконалення управ-

ління природними та виробничими процесами в агроландшафтах. У сучасних умовах кліматичних змін та інтенсифікації аграрного виробництва дедалі більшого значення набуває ретроспективна та оперативна супутникова інформація, яка є необхідним компонентом системи агроекологічного моніторингу. Однак це потребує удосконалення науково-методичних засад отримання, оброблення та використання відповідної інфраструктури супутникової інформації та міжвідомчої координації відповідних досліджень. Актуальність супутникового агроекологічного моніторингу насамперед обумовлена великою площею території агросфери України. Загальна площа сільськогосподарських угідь сягає понад 42 млн га, а площа орних земель становить 32,5 млн га. Отримати оперативну просторову інформацію про стан аграрного виробництва на конкретній території період у просторі й часі традиційними наземними методами доволі проблематично і можливо тільки за умов використання сучасних супутникових технологій.

### **АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ**

З огляду на світовий досвід для моніторингу посівів сільськогосподарських культур використовується дистанційна інформація знімальних систем різного просторового і радіометричного розрізнення разом із наземними даними [2; 3]. Застосування космічних систем знімання низького просторового розрізнення дає змогу контролювати стан рослинного й ґрунтового покриву на рівні країни і регіону, а системи високої роздільної здатності дають можливість контролювати стан посівів сільськогосподарських культур і ґрунтового покриву на рівні окремих господарських одиниць і полів. Найоптимальнішим є поєднання систем низької і середньої роздільної здатності (радіометр AVHRR метеосупутників серії NOAA, багатозональний сканер MODIS супутника Terra, супутники Landsat-8,9, Sentinel-3) та систем високої роздільної здатності (SPOT, RapidEye, Sentinel-2 та ін.) [4–6].

### **МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Збір та аналіз інформації проводився з використанням закордонних і вітчизняних літературних та фондових джерел із метою вивчення та узагальнення міжнародного й вітчизняного досвіду щодо існуючих методичних підходів у системі супутникового агроекологічного моніторингу. Деталізація елементів земного покриття до 4-го рівня [7] виконувалось із використанням європейського класифікатора CORINE [8] з урахуванням міжнародного досвіду класифікації EUNIS та її удосконаленої версії, розробленою Я.П. Дідухом зі співавторами для опису біотопів Лісостепової зони України [9].

Для визначення впливу потепління на стан рослинності використано супутникові дані NOAA STAR NESDIS (National Environmental Satellite Data Information Services) – Центру використання супутникових досліджень та інформації Національного управління з дослідження океану та атмосфери США. Визначення стану посівів озимих культур та запасів вологи в метровому шарі ґрунту отримано за доступними результатами супутникових знімачів (United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service <https://ipad.fas.usda.gov/cropeplorer>).

Прояв пилової бурі визначався за супутниковими знімками Terra/Modis – true color image та Aerosol Optical Depth (<https://go.nasa.gov/3j3GrXS>).

### **РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Практичне застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) розпочато в першій половині XIX ст. Було розроблено теоретичні основи електромагнітного випромінювання за межами видимої частини спектра, у т. ч. інфрачервоного, ультрафіолетового та радіохвильового. Розроблена загальна електромагнітна теорія, спрямована на кількісну інтерпретацію різнохвильової спектральної інформації, що надходить від різних об'єктів земної поверхні [2].

Перші супутникові знімки земної поверхні отримано з метеорологічного супутника у 1960–1962 рр. В Україні дослідження в галузі ДЗЗ також виконуються близько 50 років. Так, ще в 1995 р. на орбіту було виведено перший вітчизняний космічний апарат «Січ-1». У процесі практичного використання супутникової інформації значна увага приділялась розробленню нормативної бази ДЗЗ. Зокрема, науковими установами Національної академії наук та Державного космічного агентства України створено перший національний стандарт з ДЗЗ «Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять» (2003 р.), а також «Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення та інтерпретація даних» (2003 р.).

Дистанційний моніторинг у галузі сільського господарства в Україні почав опрацьовуватися ще у 80–90 роках минулого століття. З цієї метою був створений Український державний науково-дослідний, проектно-технологічний інститут з прогнозування і дистанційного зондування агрономічних ресурсів (УкрДНДПТІ «Агроресурси»). До завдань Інституту входило обстеження стану посівів особливо озимих культур, визначення посівних площ, прогнозування врожаю та валових зборів зернових культур. Спостереження переважно виконувались зі спеціально обладнаних літаків. Однак у зв'язку з високою вартістю цих робіт, а також зростаючих можливостей супутникових даних на початку 90-х років Інститутом було розроблено концептуальні положення щодо використання в системі агроекологічного моніторингу матеріалів супутникових знімків [10]. Було опрацьовано перший варіант та основні положення дистанційного сільськогосподарського моніторингу, його завдання, запропоновано схему і просторове розміщення підсупутникових наземних полігонів [11]. Зокрема, було визначено перелік сільськогосподарських об'єктів, які доцільно було досліджувати засобами супутникового зондування. Основні методичні положення використання супутникових спостережень базувались на аналізі

стану посівів значних за площею територій. При дешифруванні супутникових знімків залучались результати наземних спостережень наземних полігонів, на яких синхронно з результатами космічних знімків виконувались дослідження стану посівів. Було опрацьовано методичні та організаційні аспекти проведення квазісинхронних наземних обстежень посівів сільськогосподарських культур та технологічну схему збору наземних даних на тестових ділянках полігонів. Отримані результати наземних спостережень і супутникових знімків екстраполювались на значні за площею території з близькими природно-кліматичними умовами, структурою посівних площ та рівнем урожайності переважно зернових культур. Було доведено, що виявлення динамічних тенденцій класів стану сільськогосподарських культур необхідно узгоджувати з основними фазами їх розвитку. Зроблено висновок щодо важливості спеціальних польових досліджень для інтерпретації матеріалів космічних знімків [3; 12].

Необхідно зауважити досить високий на той час науково-методичний рівень виконання цих досліджень, а також використання їх результатів у практичній та управлінській діяльності агропромислового комплексу. Однак за незрозумілих причин діяльність Інституту «Агроресурси» і відповідно дослідження з цього важливого напрямку було призупинено. Подальший розвиток науково-дослідних робіт та використання супутникової інформації у практичній діяльності було пов'язано з Інститутом статистики Держкомстату України, який розпочав розробляти методи і технології використання супутникових даних для отримання інформації щодо визначення площі посівів, стану перезимівлі озимих зернових культур та прогнозування їх продуктивності [11].

У подальшому з урахуванням досягнень космічної галузі за ініціативи академіків НААН О.Г. Тараріко та О.І. Фурдичко в Інституті агроекології і природокористування НААН у 2006 р. було створено лабораторію аерокосмічного зондування агро-

сфери. Першим завідувачем новоствореного підрозділу інституту став відомий фахівець з питань використання супутникових даних в галузі аграрного виробництва О.В. Сиротенко. Діяльність лабораторії з самого початку була спрямована на розробку та удосконалення науково-методичних засад супутникового агроєкологічного моніторингу.

Варто підкреслити, що за останні 10–15 років у наукових установах Національної академії наук України, Державного космічного агентства та Національної академії аграрних наук доволі інтенсивно виконувались різноманітні дослідження з використання супутникових даних у галузі сільського господарства та природокористування. З урахуванням їх досягнень лабораторією аерокосмічного зондування агросфери спільно із ДП «Дніпрокосмос» Державного космічного агентства було розроблено Концепцію науково-технічної програми «Моніторинг агроресурсів і прогнозування їхнього стану з використанням даних ДЗЗ» («Агрокосмос»). Розроблено низку державних стандартів та нормативного забезпечення, у т. ч. створено стандарт ДСТУ 7307:2013 «Дистанційне зондування Землі з космосу. Наземні дані щодо контролю стану посівів і продуктивності сільськогосподарських культур» (2014 р.). Розпочато супутникові дослідження з екологічного оцінювання агроландшафтів, визначення стану посівів та прогнозування їх продуктивності, розповсюдження ерозійної деградації та процесів опустелювання земель [4; 13]. У 2009 р. за підтримки Міністерства аграрної політики та продовольства України і Державного космічного агентства України лабораторією спільно з ДП «Агрокосмос» та фірмою AG Rapidye виконано пілотний проєкт «Моніторинг агроресурсів з використанням супутникових даних Rapidye» (AGRO-UA). В наукових програмах лабораторії особлива увага приділялась розробці науково-методичних положень впливу змін клімату стосовно природно-кліматичних зон та його впливу на врожайність зернових культур. Ці дослідження виконувались у рамках проєкту

Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «Проведення просторової оцінки ступеня сприятливості майбутніх кліматичних змін для продуктивності зернових культур і лісових насаджень».

В останнє десятиріччя продовжувалось стрімке удосконалення супутникових датчиків, що забезпечило розширення можливостей як супутникового моніторингу, так і використання його результатів у природоохоронній сфері та аграрному виробництві. Нині у світовій практиці використовуються більш досконалі супутникові датчики, у т. ч. мультиспектральні, гіперспектральні й радіолокаційні. Для кожного з них враховуються роки роботи супутника, смуги пропускання, спектральна роздільна здатність та частоти повторного перегляду. Важливе значення також має вартість супутникових даних. Все це потребує подальшого удосконалення науково-методичних засад супутникового агроєкологічного моніторингу.

Нині одним із найперспективніших нових супутників для отримання і використання дистанційної інформації в різних галузях є Sentinel-2, дані з якого надаються Європейським космічним агентством (ESA) безкоштовно. Просторова роздільна здатність датчиків цього супутника знаходиться у межах 10–20 м, а частота повторного перегляду — 5 днів, що є цілком достатнім для вирішення різноманітних завдань у природоохоронній та сільськогосподарській діяльності.

Однак супутникові дані в системі агроєкологічного моніторингу мають і недоліки. До переваг можна віднести ретроспективне глобальне просторове покриття, визначення ділянок поля з різним типом ґрунтів, характеристики їх механічних і фізико-хімічних властивостей, прояву різноманітних деградаційних процесів, визначення стану рослинності, дефіциту поживних речовин та вологи, впливу на сільськогосподарські культури хвороб та шкідників [14], а також прогнозування врожайності. До недоліків супутникових зніманих відносяться перешкоди від хмар, а також значний обсяг робіт з оброблення

знімків, що обмежує можливість своєчасного використання цих даних для надання рекомендацій з управління та оперативного корегування агротехнологій.

Особливо цінною є сучасна супутникова інформація щодо характеристики архітектоники і біометрії рослин, у т. ч. біомаси, визначення індексу площі листків (LAI), розміру і щільності рослинності, які виражаються у коефіцієнтах відбиття на довжинах хвиль NIR. Зі збільшення біомаси рослинності значення коефіцієнта ближнього інфрачервоного випромінювання, як правило, збільшується. Зміни мультиспектрального коефіцієнта відбиття на супутникових знімках окремого полі в різні фази розвитку вказують на нерівномірність стану родючості ґрунтів, наявність хвороб, комах та нестачі вологи, що може негативно впливати на накопичення біомаси й врожайність сільськогосподарських культур. Частота повторного мультиспектрального знімання залежно від супутника може коливатися від 1 до 15 днів.

У системі аерокосмічного зондування важливе значення має класифікація об'єктів спостереження, які використовуються при автоматизованій обробці супутникових знімків. Основою сучасних підходів класифікації є ландшафтно-системний підхід та комплексне використання оптичних спектральних і просторових ознак, методів автоматизованого оброблення матеріалів космічної зйомки та їх тематичної інтерпретації. Класифікація елементів агроландшафту ґрунтується на тому, що будь-який об'єкт дослідження характеризується сукупністю кількісних ознак його зображення. Отже, класифікація — це тематичне оброблення супутникового знімка, за яким він поділяється на однорідні класи. Загалом, класифікація є необхідним елементом технології автоматизованого оброблення супутникових знімків.

Прикладом реалізації класифікації елементів агроландшафтів є розроблена ДП «Дніпрокосмос», ЦАКДЗ НАН України та Інститутом агроекології і природокористування НААН у межах виконання міжнародного проекту (INTAS-06-1000024-9100)

технологія автоматизованої класифікації класів покривних елементів ландшафтів CORINE LCC за даними багатозональної системи високого розрізнення ASTER [15]. Основними дешифрувальними ознаками були: форма об'єкта, його розмір, тінь, тон (яскравість), колір, структура і текстура.

Необхідно підкреслити, що отримати необхідні характеристики для дешифрування об'єктів агроландшафтів лише за дистанційними знімками без натурних визначень для більшості випадків є проблематичним. Тому процедура отримання калібрувальної наземної інформації становить необхідний елемент технологічної схеми обробки супутникових знімків. Наземні спостереження необхідні для визначення ознак окремих об'єктів агроландшафтів, у т. ч. ґрунтового покриву, полів, окремих культур, лісів, поверхневих вод, прояву деградаційних процесів та процесів опустелювання. Структурні зміни цих елементів агроландшафту відображають рівень його трансформації як під дією господарської діяльності, так і таких природних чинників, як зміна клімату. Зважаючи на важливість питання класифікації, у країнах ЄС було розроблено класифікацію та цифрові карти наземного покриву CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment — Координація інформації про довкілля) [8; 16]. Номенклатура CORINE Land Cover складається з трьох рівнів і 44 класів елементів. Цю класифікацію було прийнято в Україні як СОУ «Дистанційне зондування Землі з космосу. Наземні обстеження посівів. Класифікатор об'єктів і функцій: СОУ 01.1-37-907:2011 [Чинний від 2011-01-08]».

Однак для більш ефективного використання матеріалів супутникових знімків у системі агроекологічного моніторингу, детального аналізу динаміки наземного покриву, контролю структури посівних площ доцільним є виконати її адаптацію до природно-кліматичних та виробничих умов України. Особливо це актуально при подальшій деталізації Європейської класифікації до 4-го рівня. На четвертому рівні класифікатора CORINE лабораторією аеро-

космічного зондування агросфери Інституту агроєкології і природокористування НААН запропоновано додати 20 класів наземного покриву, які стосуються рівня «сільськогосподарські області», що забезпечує більш точне визначення структури агроландшафтів при дешифруванні матеріалів космоснімань [7]. Фрагмент такої деталізації до 4-го рівня класифікатора CORINE з урахуванням досвіду сусідніх країн (11), класифікації EUNIS та її удосконаленої версії Я.П. Дідуха зі співавторами для опису біотопів Лісостепової зони України представлено в *табл.* 12).

Однією із ключових цілей сталого землекористування є досягнення екологічно оптимальної організації території з урахуванням досягнення високої продуктивності агроєкосистем, цілісності та збереження середовища існування біологічних видів. Однак висока розораність сільськогосподарських угідь в умовах України є типовим надмірна фрагментація природного рослинного покриву, що зумовлює збільшення ризиків збереження ландшафтного і біотичного різноманіття. Структурна неоднорідність агроландшафту може оцінюватися за допомогою індексів ландшафтного різноманіття. Доведено, що супутникова інформація дає можливість за допомогою порівняльного аналізу розподілу індексів ландшафтного різноманіття за різні роки виявляти зони підвищення або зменшення його рівня, визначити та локалізувати критичну площу, яка потребує змін у структурі землекористування, зокрема шляхом консервації деградованих і малопродуктивних земель [7].

Негативні тенденції, пов'язані з деградацією та опустелюванням земель, а також виснаженням родючості ґрунтів, продовжують поглиблюватися, а в останні десятиріччя набули глобального характеру, тобто охоплюють сільськогосподарські угіддя у всіх природно-кліматичних зонах. Тому особливо актуальним в цьому відношенні є супутникові спостереження у просторі та часі за розповсюдженням цих явищ як в зв'язку зі змінами клімату, так і виробничою сільськогосподарською діяльністю

які, зокрема, підвищують ризики ерозійної деградації ґрунтів.

На першому етапі за визначення просторового розповсюдження ерозійних процесів, оцінювання інтенсивності їх розвитку, а також отримання вхідних даних про параметри рельєфу, ґрунтового покриву, агротехнічних заходів, стану зволоження поверхні ґрунту для моделювання ерозії на конкретних територіях, окрім традиційних наземних спостережень, використовували матеріали аероснімань, що підтверджується великою кількістю публікацій [17 та ін.]. Однак із початком запуску космічних систем високого просторового розрізнення розпочалась розробка якісно нових технологій визначення розповсюдження ерозійної деградації ґрунтів та яроутворення. Індикація ґрунтів, уражених ерозією, за даними дистанційного зондування, пов'язана з оцінкою визначальних чинників ерозії, до яких належать властивості ґрунту, рослинності, топографії і характер використання території. В основу класифікації ерозійних процесів ґрунтового покриву, за даними дистанційного зондування, покладено формалізовані експертні знання стосовно його спектральних, текстурних, контекстуальних ознак та їх різноманітних проявів. Для визначення ознак необхідною є процедура отримання калібрувальної наземної інформації, тобто еталонування, що становить обов'язковий елемент аерокосмічних досліджень. За спектральними характеристиками, даними наземних обстежень та регресійними моделями визначаються стан ґрунтового покриву, зокрема вміст гумусу, ступінь еродованості та інші дешифрувальні ознаки.

Використання систем багатозонального і гіперспектрального знімання дає змогу отримувати кількісні характеристики спектрального відбиття та випромінювання й формалізувати процеси моделювання, що надає можливість для застосування автоматизованої класифікації еродованих земель. Просторове розподілення еродованості ґрунтового покриву, площинної форми ерозії, в агроландшафтах доволі задовільно визначається за логічною моделлю,

**Фрагмент деталізації класифікатора CORINE до 4-го рівня «сільськогосподарські області» – рівень 1 [7]**

Деталізація класифікатора					
рівень 1	рівень 2	рівень 3	рівень 4		
Сільськогосподарські області	2.1. Орна земля	2.1.1. Незрошувана орна земля	2.1.1.1. Зернові колосові культури суцільного посіву		
			2.1.1.2. Прорізані культури		
			2.1.1.3. Однорічні та багаторічні трави		
	2.2. Багаторічні культури	2.2.1. Сади і ягідники	2.2.1. Сади фруктових та деревних культур	2.1.2.1. Постійно зрошувальна земля	
				2.1.3. Поля рису	
				2.2.1.1. Виноградники	
	2.3. Пасовища	2.3.1. Пасовища	2.3.1.1. Пасовища і луки без деревної чи чагарникової рослинності.	2.2.2.1. Сади фруктових та деревних культур	
				2.2.2.3. Ягідники	
	2.4. Гетерогенні сільськогосподарські області	2.4.1. Однорічні культури з включенням багаторічних культур	2.4.1.1. Однорічні культури з включенням багаторічних культур	2.2.3. Оливкові гаї	
				2.3.1.1. Оливкові гаї	
		2.4.2. Складні зразки культивування	2.4.2.1. Складні зразки культивування без забудови (однорічні культури з включенням пасовищ і/або багаторічних трав'яних чи деревних культур)	2.4.2.2. Складні зразки культивування із включенням забудови (однорічні культури з включенням пасовищ і/або багаторічних трав'яних чи деревних культур)	2.3.1.2. Пасовища і луки з деревною чи чагарниковою рослинністю (від до 15 до 40%)
					2.4.3. Земля переважно зайнята сільським господарством з суттєвими областями природної рослинності
2.4.4. Области агролісівництва	2.4.4.1. Ползахисні лісові смуги	2.4.4.2. Протиерозійні лісові насадження	2.4.3.1. Земля переважно зайнята сільським господарством з суттєвими областями природної рослинності із переважанням орних земель.		
			2.4.3.2. Земля переважно зайнята сільським господарством з суттєвими областями природної рослинності із переважанням луків.		
			2.4.3.3. Земля переважно зайнята сільським господарством з суттєвими областями природної рослинності з переважанням лісо-чагарникової рослинності		
			2.4.4.3. Лісо-чагарникові насадження навколо водних об'єктів		

яка ґрунтується на комплексному використанні даних різних супутникових систем, наявної тематичної і картографічної інформації та опорних тематичних даних щодо характеристик ґрунтового покриття (спектральні, агрохімічні) (рис. 1) [18].

Можливості визначення лінійних форм ґрунтової ерозії, за даними аерокосмічного знімання високого просторового розрізнення, визначають за їхніми геометричними й оптичними характеристиками та просторовою і радіометричною роздільною здат-

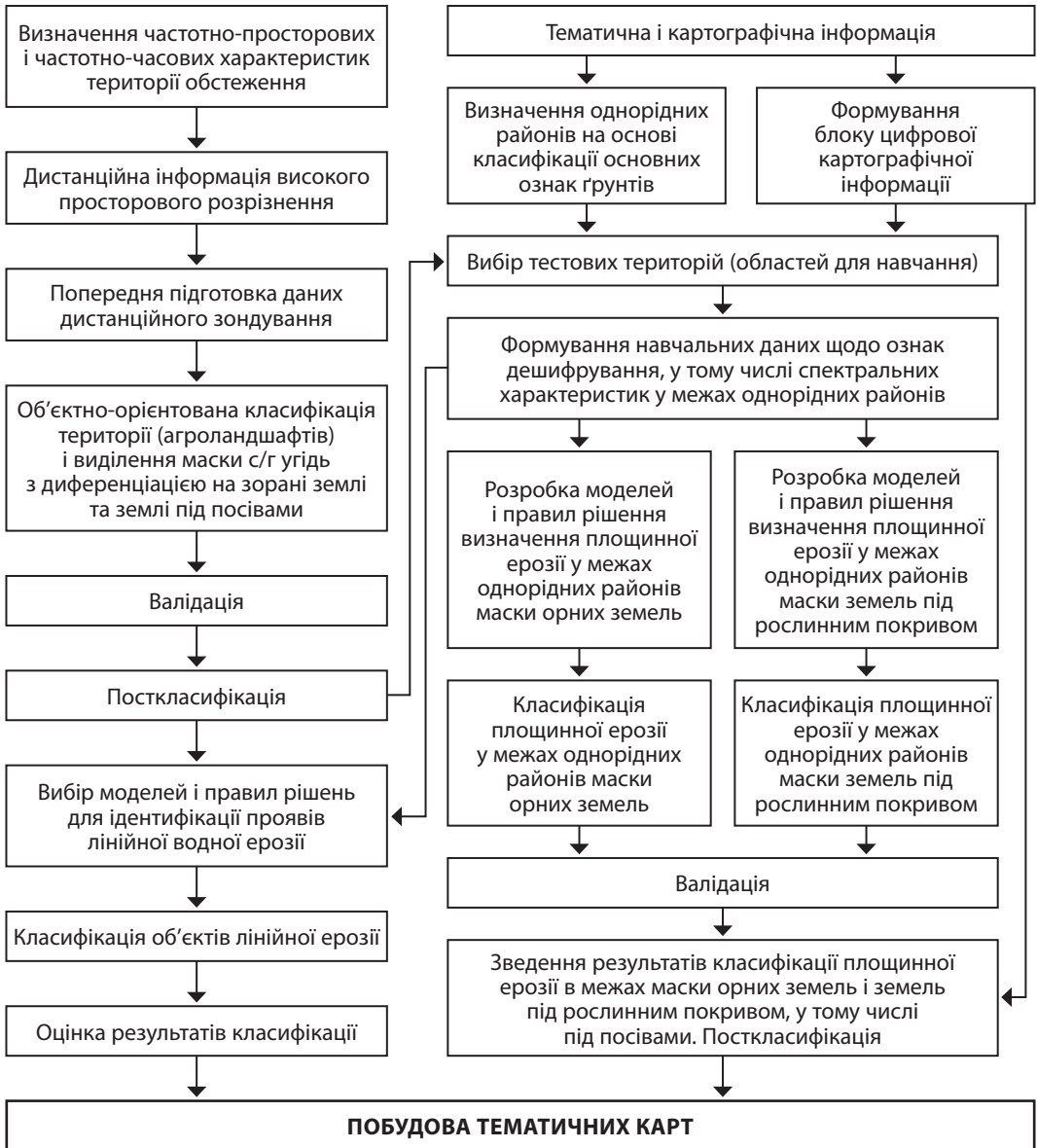


Рис. 1. Логічна модель класифікації водної ерозії ґрунтів за матеріалами дистанційного знімання [18]



ністю систем дистанційного знімання. Одним із показників еродованості ґрунтового покриву є густина розмежування поверхні ерозійними формами. Для визначення розвитку яружної ерозії використовують коефіцієнти яружності, густоту, щільність та сумарну протяжність ярів [4].

Ще один із видів ерозії, який завдає непоправної шкоди ґрунтам, агроекосистемам та довікілью загалом є вітрова ерозія. Важливим є просторовий моніторинг цього небезпечного явища, яке може розповсюджуватися на площі до 5–6 млн га. Це особливо характерно для зони Степу під час проходження кліматичних фронтів. Однак останнім часом, у 2020 та 2021 рр. пилова буря спостерігалась і в Поліссі (рис. 2).

На супутниковому знімку видно, як пилова буря з прикаспійських степів через Аральське море розповсюдилась по течії р. Дніпро до Києва в зону Полісся (окреслено білим) до Білоруського Полісся. Ширина смуги пилової бурі наближалась до 150–200 км. Це явище є небезпечним не тільки з точки зору деградації ґрунтового покриву, особливо в зоні Полісся, але й негативно впливає на якість атмосферного повітря в результаті підйому в атмосферу радіонуклідів,

а також внесених у ґрунт добрив та пестицидів.

Таким чином, супутникова інформація надає можливості дистанційно отримувати інформацію про якість ґрунтів і зокрема їх протиерозійної стійкості, параметрів рельєфу та сільськогосподарської практики, а також характеру опадів та вітрового режиму. Ці дані є необхідними елементами математичних моделей із просторового оцінювання ерозійних втрат ґрунту, які є ключовим аспектом інформаційного забезпечення планування заходів із протиерозійної оптимізації сільськогосподарських ландшафтів та розробки системи протиерозійних заходів.

Одним із ключових завдань супутникового агроєкологічного моніторингу є **моніторинг стану посівів, забезпечення їх вологою** та прогнозування врожайності. Дистанційний моніторинг стану посівів сільськогосподарських культур та визначення їх площ і продуктивності здійснюється на основі раціонального поєднання традиційних систем збору й методів спостереження, різномасштабних оперативних даних дистанційного зондування із застосуванням ГІС-технологій.

В основі **визначення стану рослинності**, зокрема і посівів сільськогосподарських

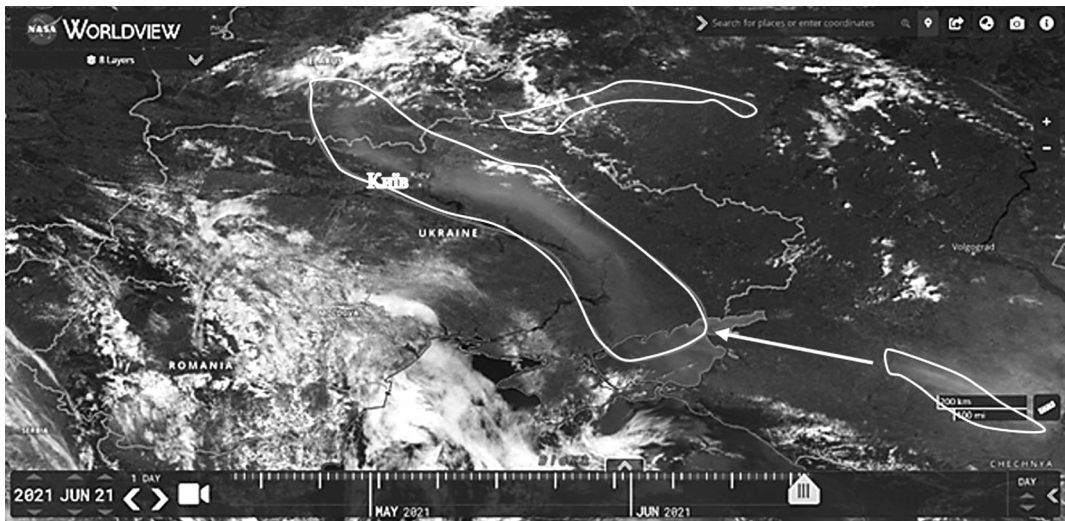


Рис. 2. Прояв пилової бурі за даними супутникової зйомки Sentinel-5p (21 червня 2021 р.)

культур, за даними дистанційного зондування лежать методи аналізу відбитого рослинністю сонячного випромінювання у різних діапазонах спектра електромагнітних хвиль. За результатами численних досліджень [19 та ін.] було визначено на основі емпіричного досвіду вегетаційні індекси (VI), які є своєрідною комбінацією енергетичних яскравостей різних спектральних каналів. Їх числові значення використовують для характеристики та оцінки біофізичних параметрів рослинного покриву.

На сьогодні є близько 160 варіантів вегетаційних індексів, розрахованих за еталонними кривими спектрального відбиття різних культур та ґрунту. Одним із найінформативніших вегетаційних індексів є нормалізований вегетаційний індекс NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) — нормалізована різниця яскравостей у червоній та ближній інфрачервоній зонах електромагнітного спектра. Розрахунок NDVI ґрунтуються на двох найстабільніших (незалежних від інших факторів) ділянках спектральної кривої. У червоній ділянці спектра (0,6–0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а в інфрачервоній ділянці (0,7–1,0 мкм) є ділянка максимального відбиття клітинних структур листка. Отже, висока фотосинтетична активність (пов'язана, зазвичай із густою рослинністю) веде до меншого відображення в червоній ділянці спектра і більшого в інфрачервоній. Відношення цих показників один до одного дає можливість аналізувати рослинні об'єкти й чітко відокремлювати їх від інших об'єктів. На основі матеріалів польових спостережень за посівами визначають індикаційні ознаки окремих культур та їх стану, що дає можливість надалі виконати їх автоматизовану класифікацію в межах території всього району досліджень. Отримані за вибірковою мережею дані й співвідношення екстраполюються на всю територію району досліджень дають можливість визначити структуру і стан посівів, а також є складовими моделей прогнозування продуктивності на рівні району [20].

Порівняльний аналіз розподілення значень вегетаційних індексів, зокрема NDVI, за певні періоди вегетації дає можливість екстраполювати вплив агрометеорологічних умов на великих територіях і є істотним доповненням до експертної оцінки стану посівів та прогнозування у межах країни або певного регіону. Для моделювання стану й продуктивності посівів сільськогосподарських культур використовують системне поєднання математичних і картографічних моделей, так званий метод математично-картографічного моделювання, що надає математичним моделям єдиний уніфікований підхід щодо збору наземної інформації, створює умови для організації відповідних інформаційних баз наземних даних у системі автоматизованого оброблення космічної інформації географічну просторову конкретність.

Найважливішим екологічним чинником росту й розвитку рослин, формування врожаю є їх вологозабезпеченість. Зміни кліматичних умов зумовлюють необхідність розгляду їх наслідків не лише на глобальному рівні чи, навіть, на рівні країни, а також на локальному рівні. Найбільшого негативного впливу в цих умовах зазнає сільське господарство. Зокрема, велику небезпеку становить підвищення температури повітря до рівня, що перевищує оптимальне і припустиме максимальне значення (вище 30°C), за якого коренева система рослин не в змозі компенсувати витрати вологи на транспірацію листковою поверхнею, що спричиняє у рослин водний стрес та депресію фотосинтезу. Завчасно виявити настання посухи за наявних методів визначення запасів продуктивної вологи є складним завданням. Саме тому актуальною є розробка нових методів виявлення посушливих явищ із застосуванням сучасних геоінформаційних (ГІС) і ДЗЗ технологій, які є підставою для коригування агротехнологій у напрямі оптимізації умов вологозабезпеченості. Супутникова інформація дає змогу в оперативному режимі екстраполювати дані спостережень, отримані за мережею метеостанцій, на великі території і отримати точнішу оцінку

розповсюдження критичних кліматичних і погодних негативних впливів на посіви сільськогосподарських культур. Загальновідомі результати використання даних дистанційного зондування Землі досліджень із цих проблем у США (NASA), в європейських програмах MARS [21], системі глобального спостереження Землі GEOSS [22] і створеного в системі глобального моніторингу для довкілля і безпеки GMES сервісу GSE Land [23] оперативного визначення територій, що зазнали впливу посушливих явищ.

Визначення кризових посушливих явищ в агроекосистемах та водних стресів у посівах сільськогосподарських культур ґрунтуються на теоретично і експериментально встановленому взаємозв'язку між станом рослинного покриву, зокрема з реакцією рослинності на умови зволоження, і його спектральною відбивною здатністю на різних довжинах хвиль електромагнітного спектра. Отже, для визначення реакції рослинності на умови зволоження використовуються вегетаційні індекси, що є математичними комбінаціями цих значень у певних каналах, які є інформативними для цього об'єкта. Зокрема як непрямий показник вологозабезпеченості агроланд-

шафтів, традиційно використовують наведений вище індекс NDVI і його модифікацію VCI. Перевагою їх використання для оцінки вологозабезпеченості є існування готових безкоштовних регулярних продуктів, які включають визначений NDVI та VCI за матеріалами знімання [24]. За значеннями індексу VCI можна визначити умови зволоження посівів. Зокрема, настання посухи спостерігається при його значеннях менших за 36, а стресовий стан рослин при значеннях менших за 30. При значеннях більших за 70 спостерігаються вологі сприятливі умови вегетації. Визначення просторового розподілення водного стресу в посівах сільськогосподарських культур на локальному рівні проводиться за даними, отриманими зі знімальних систем високого просторового розрізнення. Для цього використовуються матеріали космічного знімання таких космічних систем, як RapidEye, ASTER, ALOS, Landsat-8, Sentinel та ін. Деталізація просторового поширення водного стресу проводиться в межах маски посівів на кожному полі [25].

Наведемо приклад ефективного використання супутникових даних при визначенні стану посівів озимих культур та запасах вологи в метровому шарі ґрунту за доступними результатами супутникових знімачів (*United States Department of Foreign Agricultural Service* – <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer>). Як видно, на початок червня 2022 р. запаси вологи в метровому шарі ґрунту знаходяться на рівні близькому до оптимального, що значною мірою визначатиме урожай не тільки озимих зернових культур, але й навіть кукурудзи та соняшнику (рис. 3). Обмежені запаси продуктивної вологи спостерігаються в деяких південно-західних районах Одеської та Запорізької обл. Можна відзначити спрацювання запасів вологи в метровому шарі ґрунту порівняно з кінцем травня, але вони залишаються близькими до оптимальних для вегетації на початок червня. Однак, порівняно з минулим 2021 р. спостерігаються більш низькі запаси вологи в зоні Степу (Херсонська, Миколаївська,

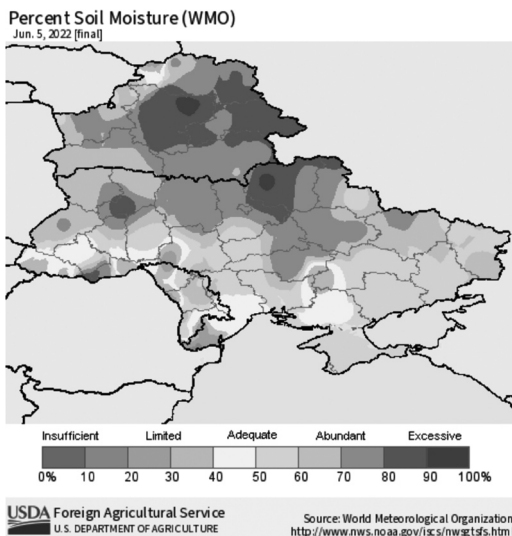
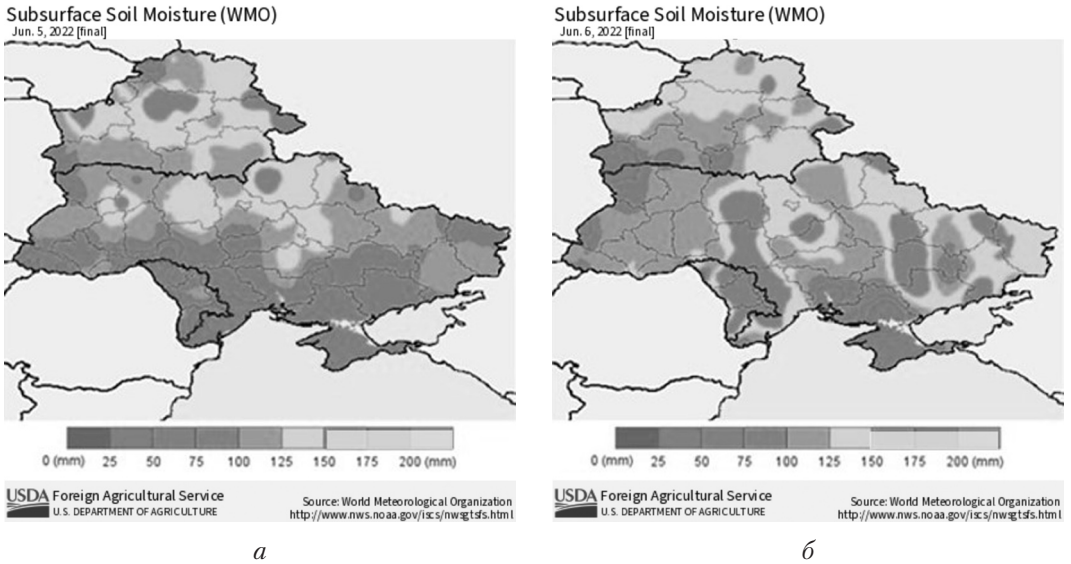


Рис. 3. Відсоток доступної вологи на 5 червня 2022 р.

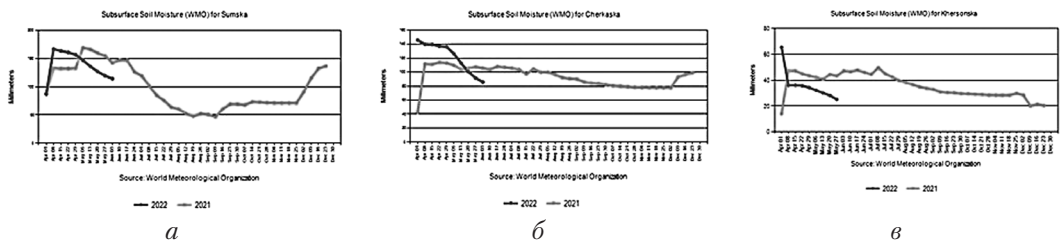


**Рис. 4.** Порівняння запасів води у метровому шарі ґрунту:  
*a* – на 5 червня 2022 р.; *б* – на 6 червня 2021 р.

Одеська та ін.), а також у зонах Лісостепу (Черкаська, Вінницька) та Полісся – Сумській обл. (рис. 4, 5). За критично високої температури у цих областях може проявлятися високий рівень посушливих явищ.

Щодо температурного режиму на початок червня спостерігається вищий рівень порівняно з багаторічними показниками температури, що особливо характерно для Сухого Степу. Аналогічна закономірність спостерігається і для 2022 р. порівняно з 2021 р. Отже, можна відзначити подальше потепління клімату на початок червня 2022 р. порівняно з аналогічним періодом 2021 р.

Стан посівів у системі агроекологічного моніторингу в основному характеризується за показником NDVI. Необхідно підкреслити, що його структура і відповідне значення у весняний період та на початку літа складається переважно з посівів озимих культур, деревинної рослинності та природних угідь. Оскільки деревинна і природна рослинність є постійними для конкретних територій, то відміни NDVI, які спостерігаються у просторі і часі, в основному відносяться до посівів озимих культур, зокрема на 5 червня 2022 р. Як видно, в цьому році порівняно з попереднім 2021 р. у зоні Полісся на початок червня показник



**Рис. 5.** Порівняння запасів води у метровому шарі ґрунту в 2022 та 2021 рр.:  
*a* – Сумська обл.; *б* – Черкаська обл.; *в* – Херсонська обл.

NDVI посівів в основному озимих культур залишається на рівні 2021 р., або дещо нижче, а також нижче середньобагаторічного значення цього показника. Аналогічна ситуація з посівами і в зоні Лісостепу. Що стосується південного регіону, то показник NDVI на цю дату знаходиться на рівні помітно вище середньобагаторічного, але нижче за попередній рік (рис. 6).

Отримана супутникова інформація дає можливість нам загалом надати позитивну оцінку умов вологозабезпечення посівів не тільки озимих зернових культур, але і ранніх ярових на більшості території країни в цей період. Позитивний вплив вологозабезпечення в першій половині вегетації

буде також позитивно впливати на посіви кукурудзи, соняшнику та інших культур. У підсумку можна констатувати, що на початок червня посіви на всій території України загалом знаходяться в задовільному стані.

Ця невелика частка просторового аналізу доступної супутникової інформації свідчить про її ефективність щодо оперативного огляду стану агросфери України у просторі і часі. Не зважаючи на очевидну ефективність супутникової інформації, існуючий інформаційний ресурс у науковій, виробничій та моніторинговій діяльності використовується недостатньо. Тому подальший розвиток НТП «Агрокосмос»

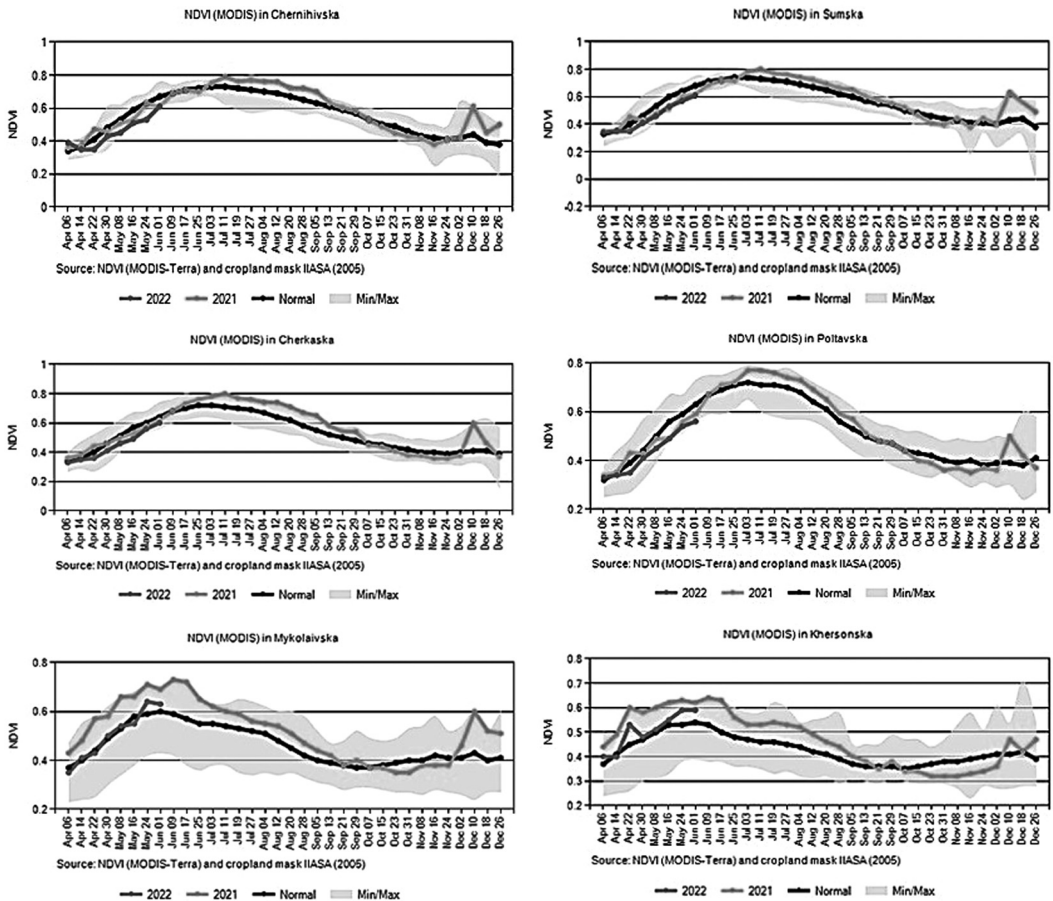


Рис. 6. Динаміка показника NDVI в умовах 2022 р., порівняно з 2021 р. по природно-кліматичних зонах

буде пов'язаний з удосконаленням науково-методичних засад інформаційного забезпечення галузі сільського господарства, агро-екологічного моніторингу та безпечного природокористування, у т. ч. щодо досягання кліматичної нейтральності, адаптації агро-екосистем до змін клімату, нейтрального рівня деградації та опустелювання земель сільськогосподарського призначення.

## ВИСНОВКИ

1. В аграрному секторі економіки України методи дистанційного зондування агроландшафтів, систем землекористування, визначення стану посівів та прогнозування врожайності використовуються впродовж близько 50 років — спочатку за допомогою літаків, а потім супутників, зокрема вітчизняного СІЧ-1. В процесі удосконалення супутникових датчиків, доступу до даних знімачів зарубіжних супутникових систем, особливо Sentinel, збільшились можливості і ефективність використання результатів супутникових знімачів у науковій, природоохоронній та виробничій сільськогосподарській діяльності.

2. Сучасна супутникова інформація є важливим інструментом не тільки удосконалення системи агроекологічного моніторингу, але й у сфері виробничої та управлінської діяльності аграрного виробництва,

планування здійснення заходів із досягнення нейтрального рівня деградації ґрунтів та опустелювання, а також адаптації до змін клімату. Тому доцільним є подальший розвиток НТП НААН «Агрокосмос», у т. ч. шляхом посилення координації науково-дослідних робіт із науковими установами Національної академії наук, Державним космічним агентством та зарубіжними партнерами в рамках міжнародних проєктів.

3. Актуальним є подальше нарощування інформаційного потенціалу використанням супутникових даних у системі агроекологічного моніторингу, що потребує розширення науково-дослідних робіт. Важливим у цьому відношенні є створення національної мережі підсупутникових тестових полігонів, що потребує узгодження та підтримки державних центральних органів управління, удосконалення координації з науковими установами НАНУ та НААН. Важливою залишається пропозиція щодо створення в рамках НААН та Мінагрополітики України міжвідомчого інформаційного-аналітичного центру «Агрокосмос», що сприятиме прискоренню та ефективному використанню супутникових даних в управлінській, виробничій та науковій діяльності в сільськогосподарському виробництві.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Попов М.А., Станкевич С.А., Козлова А.А. Дистанционная оценка риска деградации земель с использованием космических снимков и геопространственного моделирования. *Доповіді НАН України*. 2012. № 6. С. 100–104. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/dnanu\\_2012\\_6\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/dnanu_2012_6_18)
2. Довгий С.О., Лялько В.І., Бабійчук С.М. та ін. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посіб. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 315 с.
3. Кольнобрицький М.І. Основні організаційно-методичні аспекти наземного забезпечення аерокосмічного моніторингу агресурсів. *Система дослідження та моделювання в землеробстві*: зб. наук. пр. Київ, 1998. С. 294–299.
4. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Кучма Т.Л., Ільєнко Т.В. Аерокосмічний моніторинг опустелювання та деградації земель: наук. метод. посібн. / за ред. О.І. Фурдичка. Київ, 2017. 89 с.
5. Sozzi M., Marinello F., Pezzuolo A. and Sartori L. Benchmark of satellites image services for precision agricultural use. In: *Groot Koerkamp PWG, Lokhorst C, Ipema AH, Kempenaar C, Groenestein CM, van Oostrum C, Ros N. Proceedings Ag. Eng. Conf. on New Engineering Concepts for a Valued Agriculture, Wageningen*. The Netherlands. 2018. P. 8–11.
6. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Агро-екологічний супутниковий моніторинг: моногр. Київ: Аграрна наука, 2019. 201 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3492936>
7. Кучма Т.Л. Індикація ландшафтного різноманіття за даними дистанційного зондування Землі: дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2015. 175 с.
8. CLC2012 Reference Documents. 2012. URL: <http://clqc.gisat.cz/help/CLC%20QC%20Tool%20Help.html?CLC2012ReferenceDocuments.html>
9. Дідух Я.П. Теоретичні підходи до створення класифікації екосистем. *Український фітоценологічний збірник*. 2005. № 1. С. 3–14.

10. Шевченко А., Сиротенко О. Концепція аерокосмічного зондування агрономічних ресурсів в Україні. *Геодезія, картографія та аерофотознімання: міжвідомчий науков.-техніч. збірник*. 1997. Вип. 58. С. 149–151.
11. Сиротенко О.В. Система аерокосмічного сільськогосподарського агромоніторингу. *Система дослідження та моделювання в землеробстві: зб. наук. пр.* Київ: Нива, 1998. С. 286–293.
12. Бабич С.М. Методичні аспекти аналітичного опрацювання інформації при аерокосмічному моніторингу посівів. *Система дослідження та моделювання в землеробстві: зб. наук. пр.* Київ: Нива, 1998. С. 300–313.
13. Тараріко О., Ільєнко Т., Кучма Т., Білокінь О. Ерозія ґрунтів як чинник опустелювання агроландшафтів України. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 3. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240316>
14. Li X., Lee W.S., Li M. et al. Feasibility study on Huanglongbing (citrus greening) detection based on WorldView-2 satellite imagery. *Biosystems Engineering*. 2015. Vol. 132. P. 28–38.
15. Бродський Л., Бушуєв Е.И., Волошин В.И. и др. Проект INTAS по разработке автоматизированной технологии классификации земных покрытий: научные задачи, основные результаты и перспективы. *Космическая наука и технология*. 2009. Т. 15. №2. С. 36–48. DOI: <https://doi.org/10.15407/knit2009.02.036>
16. Тараріко О.Г., Демидов О.А., Андрущенко А.В. та ін. Методичні рекомендації з агроекологічної оцінки структури агроландшафтів і систем землекористування за даними дистанційного зондування Землі високого просторового розрізнення. Київ, 2012. 33 с.
17. Булыгин С.Ю., Ачасов А.Б. Использование данных дистанционного зондирования при картографировании параметров эродированности почв. *Стан земельних ресурсів в Україні: проблеми, шляхи вирішення: наук.-практ. конф.* Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2001. С. 94–96.
18. Petrychenko V.F., Tarariko O.H. and Syrotenko O.V. Space technologies in agri-environmental monitoring system. *Agricultural Science and Practice*. 2014. № 1. P. 3–12.
19. Чимитдожиев Т.Н., Ефременко В.В. Об исследовании различных индексов вегетации в дистанционном зондировании экосистем. *Исследования Земли из космоса*. 1998. № 3. С. 49–56.
20. Гриценко В.А., Сиротенко О.В., Чернін В.М. Наземні підсупутникові спостереження в сільськогосподарській статистиці. *Проблеми статистики: зб. наук. пр.* Київ: НДІ статистики Держкомстату України, 2002. Вип. 2. С. 248–253.
21. Monitoring Agricultural ResourceS (MARS). Joint Research Center, European Commission: Ispra Italy. URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/monitoring-agriculturalresources-mars>
22. URL: <https://earthobservations.org/geoss.php>
23. URL: <https://www.copernicus.eu/en/gse-land-information-service>
24. Kogan F.N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*. 1995. № 15 (11). P. 91–100.
25. Ільєнко Т.В. Оцінювання вологозабезпеченості агрофітоценозів за даними дистанційного зондування Землі з космосу: дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2014. 260 с.

## REFERENCES

1. Popov, M.A., Stankevich, S.A. & Kozlova, A.A. (2012). Distantionnaya otsenka riska degradatsii zemel' s ispol'zovaniyem kosmicheskikh snimkov i geoprostranstvennogo modelirovaniya [Remote assessment of land degradation risk using space images and geospatial modeling]. *Dopovidi NAN Ukrayiny — Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6, 100–104 [in Russian].
2. Dovhyi, S.O., Lyalko, V.I., Babijchuk, S.M. et al. (2019). *Osnovy dystantsiynoho zonduvannya Zemli: istoriya ta praktychne zastosuvannya: navchalnyy posibnyk [Fundamentals of remote sensing of the Earth: history and practical application: textbook]*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Kolnobytsky, M.I. (1998). Osnovni orhanizatsiynometodychni aspekty nazemnoho zabezpechennya arokosmichnoho monitorynhu ahrorsursiv [The main organizational and methodological aspects of ground support of aerospace monitoring of agricultural resources]. *Systema doslidzhennya ta modelyuvannya v zemlerobstvi: zbirnyk naukovykh prats' [The system of research and modeling in agriculture: a collection of scientific works]*. (pp. 294–299). Kyiv: Niva [in Ukrainian].
4. Tarariko, O.G., Sirotenko, O.V., Kuchma, T.L., Ilyenko, T.V. & Furdychka, O.I. (Ed.). (2017). *Aerokosmichnyy monitorynh opustelyuvannya ta dehradatsiyni zemel [Aerospace monitoring of desertification and land degradation]*. Kyiv [in Ukrainian].
5. Sozzi, M., Marinello, F., Pezzuolo, A. & Sartori, L. (2018). Benchmark of satellites image services for precision agricultural use. In: *Groot Koerkamp PWG, Lokhorst C, Ipema AH, Kempenaar C, Groenestein CM, van Oostrum C, Ros N (eds) Proceedings Ag. Eng. Conf. on New Engineering Concepts for a Valued Agriculture, Wageningen*. The Netherlands (pp. 8–11) [in English].
6. Tarariko, O.G., Syrotenko O.V., Ilyenko T.V. & Kuchma, T.L. (2019). *Ahroekolohichnyy suputnykovyy monitorynh: monohrafiya [Agro-ecological satellite monitoring: monograph]*. Kyiv. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3492936> [in Ukrainian].
7. Kuchma, T.L. (2015). Indykatsiya landshaftnoho riznomanittya za danymy dystantsiynoho zonduvannya [Indicator of landscape diversity based on data from remote sensing].

- vannya Zemli [Indication of landscape diversity according to remote sensing of the Earth]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
8. CLC2012 Reference Documents. (2012). URL: <http://clqc.gisat.cz/help/CLC%20QC%20Tool%20Help.html?CLC2012ReferenceDocuments.html> [in English].
  9. Didukh, Ya.P. (2005). Teoretychni pidkhody do stvorennya klasyfikatsiyi ekosystem [Theoretical approaches to creating a classification of ecosystems]. *Ukrayinskyy fitotsenolohichnyy zbirnyk – Ukrainian phytocenological collection*, 1, 3–14 [in Ukrainian].
  10. Shevchenko, A. & Syrotenko, O. (1997). Kontseptsiya aerokosmichnoho zonduvannya ahronomichnykh resursiv v Ukrayini [The concept of aerospace sounding of agronomic resources in Ukraine]. *Heodeziya, kartohrafiya ta aerofotoznmannya: Mizhvidomchyy naukovy-tekhnichnyy zbirnyk – Geodesy, cartography and aerial photography: Interdepartmental scientific and technical collection*, 58, 149–151 [in Ukrainian].
  11. Sirotenko, O.B. (1998). Systema aerokosmichnoho silskohospodarskoho ahromonitorynhu [Aerospace agricultural agromonitoring system]. *Systema doslidzhennya ta modelyuvannya v zemlerobstvi: zbirnyk naukovykh prats' [The system of research and modeling in agriculture: a collection of scientific works]*. (pp. 286–293). Kyiv: Niva [in Ukrainian].
  12. Babich, S.M. (1998). Metodychni aspekty analitichnoho opratsyuvannya informatsiyi pry aerokosmichnomu monitorynhu posiviv [Methodical aspects of analytical processing of information in aerospace monitoring of crops]. *Systema doslidzhennya ta modelyuvannya v zemlerobstvi: zbirnyk naukovykh prats' [The system of research and modeling in agriculture: a collection of scientific works]*. (pp. 300–313). Kyiv: Niva [in Ukrainian].
  13. Tarariko, O., Iliencko, T., Kuchma, T. & Bilokin, O. (2021). Eroziya gruntiv yak chynnyk opustelyuvannya ahrolandshaftiv Ukrayiny [Soil erosion as a factor of desertification of agrolandscapes in Ukraine]. *Ahroecologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 3, 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240316> [in Ukrainian].
  14. Li, X., Lee, W.S., Li, M. et al. (2015). Feasibility study on Huanglongbing (citrus greening) detection based on WorldView-2 satellite imagery. *Biosystems Engineering*, 132, 28–38 [in English].
  15. Brodsky, L., Bushuev, E.I., Voloshin, V.I. et al. (2009). Proyeckt INTAS po razrabotke avtomatizirovannoy tekhnologii klassifikatsii zemnykh pokrytyy: nauchnyye zadachi, osnovnyye rezul'taty i perspektivy [INTAS project on development of the automated technology of classification of earth coverings: scientific problems, the main results and prospects]. *Kosmicheskaya nauka i tekhnologiya – Space science and technology*, 15, 2, 36–48 [in Russian].
  16. Tarariko, O.G., Demidov, O.A., Andrushchenko, A.V. et al. (2012). *Metodychni rekomendatsiyi z ahroekolohichnoyi otsinky struktury ahrolandshaftiv i system zemlekorystuvannya za danymy dystantsiy-noho zonduvannya Zemli vysokoho prostorovoho rozrizenennya [Methodical recommendations for agroecological assessment of the structure of agrolandscapes and land use systems according to remote sensing of the Earth of high spatial resolution]*. Kyiv [in Ukrainian].
  17. Bulygin, S.Yu. & Achasov, A.B. (2001). Ispolzovaniye dannykh dystantsionnogo zondirovaniya pri kartografirovaniy parametrov erodirovanosti pochv [Use of remote sensing data when mapping soil erosion parameters]. *Stan zemelnykh resursiv v Ukrayini: problemy, shlyakhyy vyryshennya: naukovy-praktichna konferentsiya [The state of land resources in Ukraine: problems, solutions: scientific and practical conference]*. (pp. 94–96). Kyiv [in Russian].
  18. Petrychenko, V.F., Tarariko, O.H. & Syrotenko, O.V. (2014). Space technologies in agri-environmental monitoring system. *Agricultural Science and Practice*, 1, 3–12 [in English].
  19. Chimitdozhiev, T.N. & Efremenko, V.V. (1998). Ob issledovanii razlichnykh indeksov vegetatsii v dystantsionnom zondirovanii ekosistem [On the study of various vegetation indices in remote sensing of ecosystems]. *Issledovaniya Zemli iz kosmosa – Earth exploration from space*, 3, 49–56 [in Russian].
  20. Gritsenko, V.A., Sirotenko, O.V. & Chernin, V.M. (2002). Nazemni pidsuputnykovi sposterezhennya v silskohospodarskiy statystytsii [Terrestrial satellite observations in agricultural statistics]. *Problemy statystyky: zbirnyk naukovykh prats' [Problems of statistics: a collection of scientific papers]*. (pp. 248–253). Kyiv [in Ukrainian].
  21. Monitoring Agricultural ResourceS (MARS). Joint Research Center, European Commision: Ispra Italy. URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/monitoring-agriculturalresources-mars> [in English].
  22. URL: <https://earthobservations.org/geoss.php> [in English].
  23. URL: <https://www.copernicus.eu/en/gse-land-information-service> [in English].
  24. Kogan, F.N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15 (11), 91–100 [in English].
  25. Iliencko, T.V. (2014). Otsinyuvannya volohozabezpechenosti ahrofitotsenoziv za danymy dystantsiy-noho zonduvannya Zemli z kosmosu [Assessment of moisture availability of agrophytocenoses based on data from remote sensing of the Earth from space]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 05.05.2022