



# Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.4:631.47:631.459КП

© 2022

## НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДИСТАНЦІЙНОГО АГРОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

О.І. Фурдичко<sup>1</sup>, О.Г. Тараріко<sup>2</sup>, Т.В. Ільєнко<sup>3</sup>,  
С.В. Коковіхін<sup>4</sup>, М.О. Солоха<sup>5</sup>

<sup>1</sup>доктор економічних наук, доктор сільськогосподарських наук, академік НААН

<sup>2</sup>доктор сільськогосподарських наук, академік НААН

<sup>4</sup>доктор сільськогосподарських наук

<sup>3</sup>кандидат сільськогосподарських наук

<sup>1</sup>Інститут агроекології і природокористування НААН

вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна

<sup>2</sup>Інститут зрошуваного землеробства НААН

сел. Наддніпрянське, м. Херсон, 73483, Україна

<sup>3</sup>ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: <sup>2</sup>tarariko@ukr.net, <sup>3</sup>tilienko@gmail.com, <sup>5</sup>solomax@ukr.net

ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-1108-773, <sup>2</sup>0000-0002-5132-0157, <sup>3</sup>0000-0001-5406-5449

Надійшла 22.02.2022

**Мета.** Удосконалення системи дистанційного агроекологічного моніторингу та прогнозування впливу потепління клімату на врожайність зернових культур. **Методи та матеріали.** Для визначення кліматичних показників земної поверхні використано супутникові дані NOAA STAR NESDIS (National Environmental Satellite Data Information Services). Уплив потепління на стан рослинності визначали за супутниковим індикатором NDVI з сайту STAR NESDIS NOAA – Satellite Applications and Research of NOAA'S National Environmental Satellite Data Information Services – Центру використання супутникових досліджень та інформації Національного управління по дослідженню океану та атмосфери США. Ерозійна деградація агроландшафтів виконувалась із використанням безпілотного літального апарату типу літаюче крило. В якості сенсору було використано камеру Pentax W60, з такими налаштуваннями фотокамери: 1/2,3» CCD-матриця, затвор при зйомці 1/5-1/320. ISO 50-1600 у режимі Digital SR (5 Мп), у режимі серійної зйомки. Маршрути зйомки було побудовано у вигляді спіралі, щоб уникнути спотворень ортофотопланів при аналізі. Аналіз проводився за допомогою ПЗ: AgisoftPhotoscan, ErdasImage. **Результати.** Представлено інформацію виконання нової програми досліджень Національної академії аграрних наук «Супутниковий агроекологічний моніторинг, управління агроресурсами та

**прогнозування впливу змін клімату на продуктивність агроєкосистем («Агрокосмос») за матеріалами звітної доповіді академіка НААН О.І. Фурдичко за 2021р. Показано, що використання технологій ДЗЗ/ГІС є ефективним інструментом оперативного моніторингу агроландшафтів, вологозабезпечення, прояву посушливих явищ, ерозійної деградації ґрунтів і прогнозування впливу потепління клімату на врожай зернових культур. Установлена ефективність використання супутникових індикаторів при прогнозуванні продуктивності зернових культур. Висновки. За опублікованими джерелами та експериментальними даними встановлено, що в системі агроекологічного моніторингу дистанційні методи досліджень є ефективним інструментом отримання оперативної інформації про стан агоресурсів, вологозабезпечення, прояву процесів опустелювання, ерозійної деградації ґрунтів і прогнозування. За супутниковими даними можна здійснювати індексний аналіз продуктивності сільськогосподарських культур і здійснювати ранній прогноз їхньої урожайності. Доведено доцільність використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у визначенні ерозійної деградації ґрунтів. Запропоновано відповідну методику використання безпілотних літальних апаратів, яка апробована на території Богодухівського адміністративного району Харківської обл.**

**Ключові слова:** супутник, безпілотний літальний апарат, агроекологічний моніторинг, прогнозування, опустелювання, ерозійна деградація ґрунтів, урожай.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-08>

Агропромисловий комплекс України є глобально важливим виробником продовольчих ресурсів і продовольчої безпеки багатьох країн. Інтенсивне аграрне виробництво здійснюється на величезній території — близько 42 млн га, в т.ч. орних земель близько 32,5 млн га. Але значна частина сільськогосподарського простору, зокрема природнокліматичні зони Степу і Лісостепу, відомі періодичним проявом посушливих явищ і дефіцитом вологозабезпечення [1]. Інтенсивність цих критичних явищ з високою імовірністю може посилитися в процесі глобального потепління та збільшення екстремальності клімату [2]. В таких умовах актуальним є науково-інформаційне забезпечення аграрного виробництва, в т.ч. дистанційними методами моніторингу з використанням як супутників так і безпілотних літальних апаратів. Важливим є отримання оперативної інформації щодо стану посівів, раннього попередження прояву процесів опустелювання, деградації земель, інших критичних явищ, а також прояв їхніх регіональних особливостей. Вся ця інформація сприятиме інноваційному розвитку

сучасного аграрного виробництва, екологічно збалансованому природокористуванню, підвищенню точності прогнозних оцінок та прийняттю своєчасних оптимальних управлінських рішень.

Відповідно Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням (КБО) наслідком опустелювання є безповоротна втрата родючості ґрунту та зниження біологічної продуктивності екосистем. В екстремальних випадках неконтрольований розвиток цих процесів може призвести до повного руйнування агоресурсного потенціалу та перетворення аграрних територій в пустелю. Важливим у цьому відношенні є встановлення індикаторів опустелювання, в т.ч. які визначаються дистанційно. За рішенням Конференції сторін КБО індикатори опустелювання повинні відповідати економічній доцільності (Economic), специфічності (Specific), досяжності (Achievable), належності (Relevant — відповідне) та мати часові рамки (Time-bound) [3]. Дистанційні методи досліджень у цьому відношенні є адекватними вимогам Конференції сторін але потребують науково-методичного

обґрунтування та вдосконалення стосовно специфіки конкретних природно-кліматичних умов і сільськогосподарської діяльності.

Зазначеним вище вимогам значною мірою відповідають оперативні дистанційні методи агроекологічного моніторингу, результати якого є актуальними для інформаційного забезпечення виробничої та природоохоронної діяльності в умовах змін клімату та прийняття відповідних заходів із пом'якшення їхньої негативної дії на агроєкосистеми. Зважаючи на важливість цього питання, починаючи з 2021 р., була створена і виконується нова Програма НААН «Супутниковий агроекологічний моніторинг, управління агроресурсами та прогнозування впливу змін клімату на продуктивність агроєкосистем» («АГРОКОСМОС»). На початковому етапі у виконанні програми беруть участь три наукові установи НААН: Інститут агроєкології і природокористування (головна наукова установа), Інститут зрошуваного землеробства та ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського». Наукові дослідження виконують 29 осіб, з них 11 докторів і 10 кандидатів наук.

**Результати досліджень.** Використання дистанційної інформації про екологічний стан агроресурсів є ефективним інструментом оперативного моніторингу агроландшафтів, у т.ч. стану земельних і водних, посівів, а також оцінювання та прогнозування впливу змін клімату на продуктивність зональних агроєкосистем. Актуальним у цьому відношенні є науково-методичне обґрунтування використання супутникових даних не тільки для вдосконалення і корегування технологій вирощування сільськогосподарських культур протягом їхньої вегетації, й для моніторингу прояву різноманітних кризових явищ з метою врахування в системах ведення господарської діяльності та природокористуванні. Для розроблення й удосконалення методології агроекологічного дистанційного моніторингу все більшої популярності набуває не тільки супутникова інформація, й інформаційний ресурс, отриманий з безпілотних літальних апаратів [4]. Насамперед ця оперативна інформація може використовуватись для визначення стану посівів, лісових насаджень,

поверхневих вод, ідентифікації ерозійно деградованих земель, ґрунтового обстеження та багатьох інших питань, особливо за умов, коли дані космічного зондування внаслідок метеорологічної складової недоступні.

На початковому етапі виконання програми систематизовано супутникові індикатори процесів опустелювання. Показано, що на регіональному рівні ефективним є використання супутникових знімків Terra/Modis, Landsat, а на локальному рівні — сівозміни і навіть окремого поля супутників Sentinel. Обґрунтовано вимоги щодо супутникових даних для моніторингу процесів опустелювання та ерозійної деградації зональних агроландшафтів [5]. Показано, що особливо цінними у цьому відношенні є кліматичні дані серії супутників NOAA та радіометра MODIS, а також супутників Terra та Aqua, які знаходяться у вільному доступі, починаючи з 1986-х років. Ретроспективний аналіз цієї цінної інформації дає можливість не тільки виконувати порівняльну оцінку сучасного впливу змін клімату на зональні агроєкосистеми у всіх її аспектах, й виконувати прогноз на ближню та віддалену перспективу [6]. Узагальнено основні групи індикаторів, які можуть бути визначені за допомогою супутникового знімання: зокрема, прояв кліматичних змін, опустелювання та деградації земель [7]; відмінностей умов вологозабезпечення, стану рослинності, ландшафтної структури тощо. Для кожного з індикаторів визначено тип вхідних даних (назву супутника, просторове розрізнення), запропонований метод просторового аналізу.

Як дистанційний індикатор реакції рослинного покриву на кліматичні зміни досить широко використовуються різноманітні вегетаційні індекси серед яких найбільше використовується NDVI. Просторове розподілення значень NDVI і порівняльний аналіз їх числових значень за певні періоди вегетації дає можливість екстраполювати вплив агрометеорологічних умов на рослинність, у т.ч. розвиток сільськогосподарських культур на локальному, регіональному та глобальному рівнях [8].

Нині система визначення умов вологозабезпечення посівів базується здебільшого на точкових даних спостережень, які

проводять за дискретною мережею переважно в системі Гідрометцентру України та польових дослідів наукових установ Національної академії аграрних наук. Однак така система не може забезпечити одночасного покриття значних території і відповідного оперативного інформаційного забезпечення сільськогосподарських виробничих та управлінських систем про вміст вологи в посівному та кореневмісному шарах ґрунту.

Показано, що для оцінювання вмісту вологи у ґрунті доцільно використовувати супутникові дані Terra/Modis, Landsat 7,8,9; Sentinel-2,3 та відповідні спектральні індекси, зйомки у тепловому інфрачервоному діапазоні, що орієнтовані на непряму оцінку вологості ґрунту через її вплив на поверхневий енергетичний баланс. Такі матеріали також можна отримати з супутників: NOAA, Terra/Modis, Landsat 7,8,9; Sentinel-2,3.

Ефективною в цьому відношенні є мікрохвильова (радарна) зйомка високого розрізнення, що орієнтована на виявлення зміни діелектричних властивостей ґрунту. Такі дані можна отримати зі супутника Sentinel-1, а також із мікрохвильової зйомки з низьким просторовим розрізненням супутників SMOS/MIRAS, запущених у 2009 р. ESA та GCOM-W1/AMSR-2, запущених у 2012 р. Японським агентством аерокосмічних досліджень, з просторовим розрізненням 5–50 км та SMAP, який запущений NASA у 2015 р., з просторовим розрізненням 40 км [9].

Комбінації різнотипних супутникових даних диференційованої роздільної здатності, наземних тестових замірів і кліматичних моделей дає можливість отримувати детальну інформацію про зональні особливості та рівень забезпеченості вологою агроєкосистем у різні періоди вегетації сільськогосподарських культур. Використання дистанційних методів визначення умов забезпечення посівів вологою дає можливість отримувати просторову оперативну інформацію та представляти її у зручній формі, в т. ч. у вигляді карт, таблиць, графіків. Як видно з рис. 1 запаси вологи у метровому шарі ґрунту в умовах 2021 р. майже на всій території України знаходились на оптимальному рівні, що і було одним із факторів отримання досить високого врожаю зернових культур та їх валових

зборів. Водночас відмічається просторова неоднорідність вмісту вологи в посівному шарі ґрунту, що необхідно враховувати при плануванні строків посіву окремих культур навесні (рис. 1, а, див. кольорове фото на 4 стор. обкладинки часопису).

Отже, сучасні дистанційні системи агроєкологічного моніторингу є ефективним інструментом визначення багатьох елементів агроєкосистем і прояву небезпечних явищ, у т. ч. процесів опустелювання та деградації ґрунтів, стану посівів і прогнозування продуктивності агроєкосистем. Ця інформація є важливою для врахування особливостей кліматичних чинників конкретного року та адаптації до потепління клімату.

Важливою проблемою для аграрного виробництва в умовах змін клімату є також прогнозування його впливу на продуктивність сільськогосподарських культур. В Інституті зрошуваного землеробства НААН доведено можливість використання даних супутникового моніторингу посівів, а саме, за індексом NDVI (величини індексу розраховували згідно знімків, одержаних у OneSoil AI), для раннього прогнозування врожайності таких пізніх культур як: кукурудза на зерно, зернове сорго та соя (рис. 2).

Моделі прогнозування врожайності у вигляді квадратичних рівнянь за відповідними формулами (1–3) продемонстрували високу статистичну достовірність і точність, що підтверджують величини середньої абсолютної похибки прогнозу, яка коливається в межах 3,75% для сої, 8,75% — для кукурудзи на зерно та 17,62% для сорго зернового.

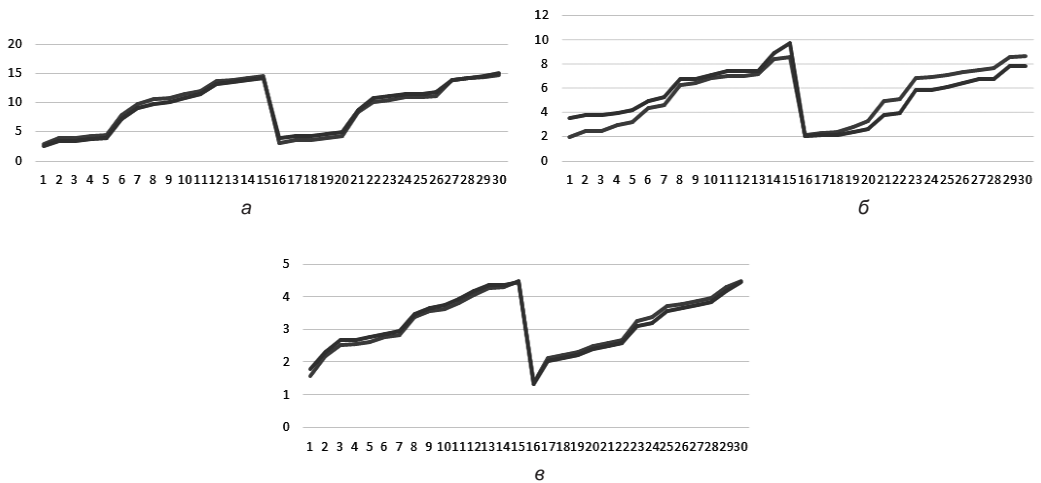
$$Y = 8,571x^2 + 22,755x - 8,035, \quad (1)$$

$$Y = 52,193x^2 - 42,136x - 10,014, \quad (2)$$

$$Y = -0,221x^2 + 9,220x - 2,338, \quad (3)$$

де Y — урожайність у т/га (1 — кукурудзи на зерно; 2 — сорго зернового; 3 — сої); x — величина NDVI у відповідну фазу вегетації культур, а саме, — початок викидання волоті для кукурудзи, початок цвітіння волоті для сорго зернового, формування другого міжвузля для сої. Графічна апроксимація математичних моделей додатково підтвердила високу точність розроблених моделей.

За результатами пілотного короткострокового (2012–2021 рр.) вивчення закономір-



**Рис. 2.** Графічна апроксимація розроблених моделей для прогнозування продуктивності пізніх ярих культур за величиною NDVI: а — апроксимація моделі для кукурудзи на зерно, б — апроксимація моделі для сорго зернового, в — апроксимація моделі для сої

ностей динаміки вегетаційних індексів NDVI та EVI із урахуванням динаміки врожайності основних культур у Херсонській області було встановлено, що досить точним є прогнозування їхньої продуктивності на базі розрахунку величин регіональних вегетаційних індексів для сільськогосподарської рослинності області, яке здійснювали за допомогою обрізування знімків у програмі QGIS за маскою вегетаційного покриття області, наданою на умовах персональної ліцензії сервісом Next GIS.

Доведено, що можна з достатньою точністю спрогнозувати врожайність озимих зернових культур за величиною регіонального NDVI або EVI, одержаного в травні, методом регресійного моделювання або штучних нейронних мереж. При цьому високу точність і достовірність модельних прогнозів підтверджено величинами середньої абсолютної похибки прогнозу в межах 5,7 та 6,5% для пшениці озимої за прогнозування з використанням величин NDVI та EVI і відповідно 8,9 та 10,6% для ячменю озимого. Якість підгону моделі засвідчує величина коефіцієнта детермінації 0,90 та 0,89 для пшениці озимої за прогнозування 0,82 та 0,77 для ячменю озимого за прогнозування з використанням величин NDVI та EVI. Моделювання продуктивності озимих зернових культур у Херсонській обл. доцільно

здійснювати за величинами вегетаційних індексів, одержаних у травні. Вегетаційні індекси, отримані в більш ранній період, не дають можливості зробити точний та достовірний прогноз.

За результатами математичного моделювання на основі простої парної лінійної регресії було розроблено шкалу прогнозної оцінки продуктивності озимих зернових культур у Херсонській обл. за даними супутникового моніторингу рослинного покриття регіону (табл. 1, 2).

Наведені шкали дають можливість попередньої оцінки валових зборів зерна озимих культур, визначення ризиків продовольчої безпеки та формування експортної стратегії ринку зерна.

Визначено, що сумісне використання ГІС, математичних регресійних моделей та штучних нейронних мереж, які завдяки здатності до роботи з неповними базами даних і самонавчання, істотно поліпшують процес формування прогнозів і є найперспективнішим напрямом розвитку прогнозування продуктивності сільськогосподарських культур на регіональному рівні [10].

Перспективним елементом дистанційного моніторингу агроландшафтів, систем землекористування, визначення стану посівів, просторового розповсюдження процесів

**1. Оціночна врожайність зерна озимих зернових культур у Херсонській області за величиною MODIS NDVI, одержаною для травня (змодельована за даними 2012–2021 рр.)**

MODIS NDVI	Пшениця озима (зерно), т/га	Ячмінь озимий (зерно), т/га
0,3–0,4	До 0,40	До 0,05
0,4–0,5	0,40–2,50	0,05–2,25
0,5–0,6	2,50–4,65	2,25–4,50
0,6–0,7	4,65–6,75	4,50–6,75
0,7–0,8	6,75–8,85	6,75–9,00
>0,8	>8,85	>9,00

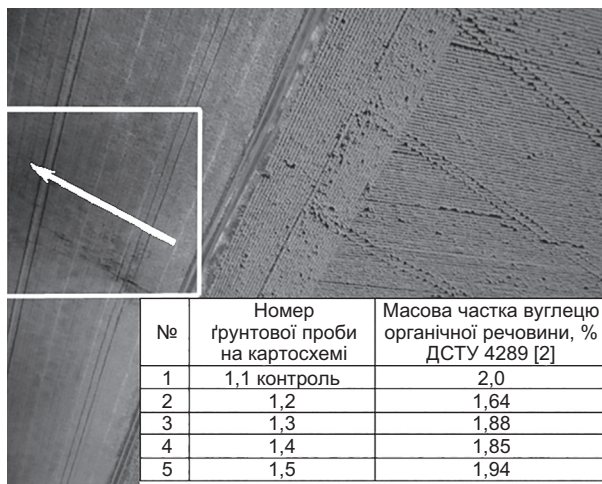
**2. Оціночна врожайність зерна озимих зернових культур у Херсонській області за величиною MODIS EVI, одержаною для травня (змодельована за даними 2012–2021 рр.)**

MODIS EVI	Пшениця озима (зерно), т/га	Ячмінь озимий (зерно), т/га
0,2–0,3	0,40–2,80	0,15–2,60
0,3–0,4	2,80–5,20	2,60–5,10
0,4–0,5	5,20–7,60	5,10–7,55
0,5–0,6	7,60–9,95	7,55–10,00
>0,6	Понад 10,00	Понад 10,00

опустелювання та деградації земель, а також удосконалення елементів агротехнологій є використання можливостей БПЛА, будь-яких аеродинамічних схем з сенсорами, які забезпечують просторову здатність понад 10 см/піксель [11, 12]. Зокрема, в ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського» з використанням БПЛА встановлено залежності між відбивною здатністю та неоднорідністю ґрунтового покриву, зокрема в результаті ерозійної деградації. Удосконалення методики використання БПЛА для визначення просторового розповсюдження ерозійних процесів виконувалось в агроландшафтах

з переважно темно-сірими опідзоленими ґрунтами та чорноземами опідзоленими із умістом гумусу відповідно 3,2 та 3,7%. На рис. 3 показано результати аерофотозйомки над об'єктом дослідження. Ліворуч (рис. 3, а, див. кольорове фото на 4 стор. обкладинки часопису) в прямокутнику показано межу проведення аерофотозйомки з номерами точок відбору ґрунтових проб. Праворуч наведено вихідну картосхему отриманої ерозійної мережі стоку на основі аерофотозйомки (рис. 3, б) та використанням геоінформаційної системи (ГІС) MapInfo.

У результаті аналізу знімка частини поля зі схилом південної експозиції з ухилом 2° встановлено, що пшениця озима висотою



**Рис. 4. Прояв ерозії на посівах пшениці озимої та вміст органічного вуглецю залежно від еродованості ґрунту. Пшениця озима – ліворуч, кукурудза – праворуч (стрілкою показано напрямок стоку та еродованості ґрунту)**

стебла близько 60 см у травні—червні місяці (фаза «восковий стан зерна») дає змогу чітко відокремити місця ерозійного стоку за кольором культури, тобто ідентифікувати просторову ерозійну деградацію ґрунту в умовах вегетації пшениці озимої з висотою не більше 60 см (рис. 4).

Отже, проведення аерофотозйомки з безпілотного літального апарату при наявності рослинності зернових колосових культур, заввишки стебла до 60 см дає змогу ідентифікувати як ерозійну деградацію ґрунту, так і вплив мікрорельєфу (улоговин) на індикативні особливості культури в оптичному діапазоні. Всі точки відбору ґрунтових проб, відібрані на схилі, мають менший вміст вуглецю порівняно з їх повнопрофільним аналогом, що підтверджує ідентифікаційні можливості рослинності

для визначення ерозійних мереж на основі аерофотозйомки.

Встановлено, що для отримання найбільш якісних аерофотознімків необхідно проводити аерофотозйомку за швидкості вітру менш 3 м/с, у вигляді площинних і паралельних маршрутів, а у разі наявності більшого вітрового навантаження понад 5 м/с — у вигляді спіралі точно проти вітру. Важливий аналіз обраної локації у зоні Лісостепу з темно-сірими опідзоленими слабоаккумулятивними ґрунтами показав, що модель RGB формату JPEG потребує систематизації отриманих даних каналів моделі RGB, це дасть можливість не тільки сформувати відмінності у вигляді різних значень каналів моделі, а й розпочати формування картографічної моделі на основі аерофотозйомки.

## Висновки

*В системі агроекологічного моніторингу дистанційні методи досліджень є ефективним інструментом отримання оперативної інформації про стан агроресурсів, прояв процесів опустелювання, ерозійної деградації ґрунтів, умов вологозабезпечення та прогнозування. Систематизовано існуючі методи супутникового моніторингу процесів опустелювання та ерозійної деградації ґрунтів. Установлено, що за супутниковими даними можна здійснювати*

*індексний аналіз продуктивності сільськогосподарських культур і прогнозування їхньої продуктивності. Надано науково-методичне обґрунтування використання супутникових даних і безпілотних літальних апаратів у системі дистанційного агроекологічного моніторингу. Показана ефективність використання БПЛА у визначенні ерозійної деградації ґрунтів і розроблена методика використання БПЛА.*

**Furdychko O.<sup>1</sup>, Tarariko O.<sup>2</sup>, Iliencko T.<sup>3</sup>, Kokovikhin S.<sup>4</sup>, Solokha M.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS, 12 Metrolohichna Str., Kyiv, 03143, Ukraine, <sup>2</sup>Institute of irrigated agriculture of NAAS, vil. Naddniproyske, Kherson, 73483, Ukraine, <sup>3</sup>NSC "O.N. Sokolovskiy Institute of soil science and agrochemistry", 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: <sup>2</sup>tarariko@ukr.net, <sup>3</sup>tiliencko@gmail.com, <sup>5</sup>solomax@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-1108-773, <sup>2</sup>0000-0002-5132-0157, <sup>3</sup>0000-0001-5406-5449

### **Scientific and methodological principles of remote agroecological monitoring and forecasting**

**Goal.** To improve the system of remote agroecological monitoring and forecasting of the impact of climate warming on grain yields. **Methods.** NOAA STAR NESDIS (National Environmental

Satellite Data Information Services) satellite data were used to determine the climatic parameters of the earth's surface. The impact of warming on vegetation was determined by the NDVI satellite indicator from the website STAR NESDIS NOAA — Satellite Applications and Research of NOAA's National Environmental Satellite Data Information Services — Center for the Use of Satellite Research and Information of the US National Oceanic and Atmospheric Administration. Erosion degradation of agricultural landscapes was performed using an unmanned aerial vehicle of flying wing type. The Pentax W60 camera was used as a sensor, with the following camera settings: 1/2.3" CCD matrix, shutter when shooting 1/51/320. ISO 501600 in Digital SR mode (5 MP), in serial mode. Surveying routes were constructed in the form of a spiral to avoid distortion of orthophotos in the analysis. The

analysis was performed using the following software: AgisoftPhotoscan, ErdasImage. **Results.** Information is given on the implementation of the new research program of the National Academy of Agrarian Sciences "Satellite agroecological monitoring, agro-resource management and forecasting the impact of climate change on the productivity of agro-ecosystems ("Agrococosmos") based on the report of Academician NAAS O.I. Furdychko for 2021. It is shown that the use of remote sensing/GIS technologies is an effective tool for operational monitoring of agricultural landscapes, moisture supply, drought, erosion degradation, and forecasting the impact of global warming on grain yields. The efficiency of using satellite indicators in forecasting grain productivity was established. **Conclusions.** According to published sources and experimental

data, remote sensing methods in the agroecological monitoring system are an effective tool for obtaining up-to-date information on the state of agricultural resources, moisture supply, manifestations of desertification, soil erosion, and forecasting. According to satellite data, it is possible to perform an index analysis of crop productivity and make an early forecast of their yields. The expediency of using unmanned aerial vehicles (UMAV) in determining the erosion degradation of soils was proved. An appropriate method of using UMAV was proposed, which has been tested on the territory of the Bohodukhiv administrative district of the Kharkiv region.

**Key words:** satellite, unmanned aerial vehicle, agroecological monitoring, forecasting, desertification, erosional soil degradation, harvest.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovnisnyk202204-08>

## Бібліографія

1. *Агроекологія: монографія* / О.І. Фурдичко. К.: Аграрна наука, 2014. 400с. Екологічні основи збалансованого розвитку агросфери в контексті європейської інтеграції України: монографія. О.І. Фурдичко. К.: ДІА, 2014. 432 с.

2. *Wilson L., New S., Daron I., Golding N.* Climate Change Impacts for Ukraine Met Office.

3. *SWOT-аналіз і аналіз прогалін (GAP-аналіз) політик, програм, планів і законодавчих актів у галузі сільського господарства та підготовка рекомендацій щодо їх удосконалення відповідно до положень Конвенції Ріо (проект ПРООН/ГЕФ «Інтеграція положень Конвенції Ріо у національну політику України)* / О.Тараріко. Херсон: ФОП Гринь Д.С., 2016. — 104 с.

4. *Пасічник Н.А.* (2020) Методичні підходи до ідентифікації рослин в оптичному діапазоні за моніторингу з використанням безпілотного літального апарату / Н.А. Пасічник, В.П. Лисенко, О.О. Опришко // *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. зб. Вип. 89.* Харків: ННЦ ІГА. 2020. С. 90–97.

5. *Апостолов О.А., Елістратов Л.О., Романчик І.Ф., Чехній В.М.* Виявлення осередків опустелювання в Україні на основі розрахунків водних індексів за даними дистанційного зондування землі // *Український географічний журнал.* 2020. 1 (109). С.16–25. doi: 10/5407/org 2020.01016

6. *Оцінювання впливу змін клімату на продуктивність агроєкосистем за супутниковими даними: рекомендації* / О.Г. Тараріко, Т.В. Ільєнко, Т.Л. Кучма, О.А. Білокінь. Київ. Аграрна наука, 2021. 40 с. doi: 10.310 73/978-966-540-536-8

7. *Fathizad H., Ardakani M.A.H., Mehrjardi R.T.,*

*Sodaiezadeh H.* (2018) Evaluating desertification using remote sensing technique and object-oriented classification algorithm in the Iranian central desert. *J. Afr. Earth Sci.* 2018, 145, 115–130. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.04.012>.

8. *Zeng L., Wardlow B.D., Xiang D., Hu S., and Li D.* (2020). A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data. *Remote Sens. Environ.* 237:111511. doi: 10.1016/j.rse.2019.111511

9. *El Hajj M., Baghdadi N., Zribi M., Rodríguez-Fernández N., Wigneron JP., Al-Yaari A., Al Bitar A., Albergel C., Calvet J-C.* (2018) Evaluation of SMOS, SMAP, ASCAT and Sentinel-1 Soil Moisture Products at Sites in Southwestern France. *Remote Sensing.* 2018; 10(4):569. <https://doi.org/10.3390/rs10040569>

10. *Ali A., Martelli R., Lupia F., Barbanti L.* (2019) Assessing Multiple Years' Spatial Variability of Crop Yields Using Satellite Vegetation Indices. *Remote Sensing.* 2019; 11(20):2384. <https://doi.org/10.3390/rs11202384>

11. *Madhavan R., Silva T., Farina F., Wiebbelling R., Renner L., Prestes E.* (2018). Unmanned Aerial Vehicles for Environmental Monitoring, Ecological Conservation, and Disaster Management. In: Hostettler S., Najih Besson S., Bolay JC. (eds) *Technologies for Development.* UNESCO 2016. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91068-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91068-0_3)

12. *de Castro A.I.; Shi Y.; Maja J.M.; Peña J.M.* (2021). UAVs for Vegetation Monitoring: Overview and Recent Scientific Contributions. *Remote Sens.* 2021, 13, 2139. <https://doi.org/10.3390/rs13112139>