

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ РОЗВИТКУ ПОСУШЛИВИХ ПРОЦЕСІВ У ЗАПОРІЗЬКІЙ ОБЛАСТІ

О.В. Мудрак

доктор сільськогосподарських наук, професор
Комунальний заклад вищої освіти "Вінницька академія безперервної освіти"
(м. Вінниця, Україна)

e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>

М.М. Ганчук

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
(м. Запоріжжя, Україна)

e-mail: ganchukmn@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4052-5744>

В.П. Скиба

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
(м. Запоріжжя, Україна)

e-mail: skiff_vika@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2233-9438>

І.В. Циганов

директор
Запорізька філія ДУ "Держгрунтохорона" (м. Запоріжжя, Україна)
e-mail: zpgrunt@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3478-9968>

К.О. Ганчук

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
(м. Запоріжжя, Україна)
e-mail: kateryna.hanchuk@tsatu.edu.ua

Екологічний моніторинг посух є важливою складовою систем управління природними ресурсами та реагування на зміну клімату. Він охоплює оцінку, аналіз і прогнозування умов посухи з використанням сучасних технологій, таких як дистанційне зондування, супутникові знімки, геоінформаційні системи (ГІС) і математичне моделювання. Основними цілями моніторингу є забезпечення своєчасного виявлення ризиків, мінімізація наслідків для сільського господарства, водних ресурсів і екосистем, а також розробка стратегій адаптації до змін клімату. Моніторинг посушливих процесів має значний вплив на прийняття рішень у галузі землекористування, сільського господарства, управління водними ресурсами і планування заходів для адаптації до змін клімату. Дослідження демонструє потенціал використання даних дистанційного зондування для виявлення процесів посухи. Для аналізу супутникових зображень використовували нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) та нормалізований диференційний водний індекс (NDWI). Аналіз супутникових знімків Sentinel-2 показав, що в середині вегетаційного періоду 2024 року 15% (223 га) мали NDVI нижче 0,2, що вказує на проблеми з розвитком рослин. Аналіз даних NDWI вказує на критичний рівень вологості ($-0,2$) на значній площі дослідних ділянок. Таким чином, на тлі водної кризи, спричиненої воєнною агресією Російської Федерації, та глобальних змін клімату, у Запорізькій області активно розвиваються процеси посухи.

Ключові слова: опустелювання, нормалізований вегетаційний індекс (NDVI), індекс вологості (NDWI), дистанційні засоби зондування Землі, деградація, багатоспектральні супутникові знімки.

ВСТУП

Одним із найнебезпечніших процесів, що сьогодні активно розвиваються на території Запорізької області, є посуха, адже вона супроводжується підвищенням температури повітря і ґрунту, зменшенням відносної вологості повітря

і запасів ґрунтової вологи, зневодненням, пригніченням і навіть загибеллю сільгоспкультур на великих площах. Причинами цього є як природні, так і антропогенні процеси. Значної шкоди було завдано внаслідок підризу Каховської ГЕС. В умовах посушливого клімату, недос-

татньо розвиненої гідрологічної мережі втрата такого важливого для зволоження регіону водного об'єкта завдала непоправних збитків для розвитку сільського господарства.

На жаль, проведення натурних досліджень на більшій частині території Запорізької області практично неможливо. Через тимчасову окупацію значної частини регіону, можливо, єдиним методом дослідження процесів в агроєкосистемах є супутниковий моніторинг. Сучасні досягнення супутникового дистанційного зондування дозволяють оцінити наявність посушливого стану підстильної поверхні та рослинності відповідно до поточного режиму опадів, що дає змогу розробляти методики встановлення явища посухи незалежно від інструментальних спостережень на поверхні Землі.

Метою роботи є проаналізувати дані дистанційного зондування Землі та виявити ознаки розвитку посушливих процесів у межах Запорізької області.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

З початком запуску космічних систем високого просторового розрізнення розпочалася розробка якісно нових технологій визначення розповсюдження деградаційних процесів у ґрунтах [15]. За нинішньої доступності зображень земної поверхні високого просторового розрізнення знімальних систем Sentinel-2, Landsat 8, SPOT, ASTER, RapidEye стає можливим ідентифікувати просторове поширення посухи ґрунтового покриву, що й зумовлює необхідність розробки та апробації моделей розвитку посухи в агроландшафтах за даними багатозонального космічного знімання високого просторового розрізнення.

Сприйнятливості ґрунтів до посухи визначають такими його властивостями, як текстура, структура, вологопроникливість, щільність, шорсткість та ін. Такі властивості ґрунту, як текстура (гранулометричний склад), вміст органічних речовин, вологи, оксидів заліза і ґрунтових мінералів, впливають на спектральний

коефіцієнт відбиття, що дає можливість класифікувати стан поверхні [4; 15]. Змив верхніх шарів ґрунту також призводить до змін спектральних характеристик його поверхні. Це призводить до зміни забарвлення верхнього шару ґрунтового покриву і відповідно до змін у його спектральних яскравостях [15]. Якщо ці зміни добре відомі і кількісно визначені, то за даними багатозональних космічних знімальних можна давати просторові та часові оцінки інтенсивності розвитку посушливих процесів [8; 11; 15].

Відповідно до Цілі сталого розвитку ООН 15.3, спрямованої на забезпечення нейтрального рівня деградації земельних ресурсів у світі, показником досягнення мети є частка деградованих земель від загальної площі земель.

Основні критерії опустелювання визначено на Міжнародній конференції у Найробі у 1990 р. До них належать деградація рослинного покриву, водна і вітрова ерозія, деградація та засолення ґрунтів.

Індикатори опустелювання (деградації) системи ЮНЕП відповідають за назвами критеріям опустелювання (деградації): дефляція, ерозія, засолення зрошуваних земель, деградація рослинного покриву, техногенне опустелювання. За змістом це переважно індикатори безпосередніх чинників опустелювання, кожен із яких об'єднує групу індикаторів другого рангу. Наприклад, індикатор опустелювання "дефляція ґрунтів" об'єднує показники індикаторів другого рангу: збільшення площі видування, зменшення задернованості поверхні, збільшення площі рухомих пісків тощо. Індикаторами другого рангу є переважно показники змін елементів ландшафту (деградація рослинності, зменшення проєктивного покриття, засолення ґрунтів, зменшення вмісту гумусу та ін.). Ці індикатори складно виявити, а також у подальшому відстежувати за допомогою одних лише наземних спостережень (табл. 1) [16].

Для прогнозування розвитку процесів опустелювання і розробки заходів щодо їх запобігання, крім системи оцінки існуючих процесів опустелювання (деградації), у методиці ЮНЕП

Таблиця 1

Чинники опустелювання, індикатори впливу та індикатори їх визначення за даними дистанційного зондування

Критерій	Вплив	Індикатор за даними ДЗЗ
Посуха	- зменшення опадів; - висушування ґрунту; - в'янення.	- кліматичні параметри; - вологість ґрунту; - рослинний покрив, NDVI.
Водна ерозія Вітрова ерозія	- еродовані ґрунти; - оголені продуктивні землі; - бідний рослинний покрив.	- ознаки ерозії; - оголені поверхні; - рослинний покрив, NDVI.

Закінчення таблиці 1

Критерій	Вплив	Індикатор за даними ДЗЗ
Водна безгосподарність	• відсутність; • втрати; • погана якість; • дисбаланс; • хвороби.	• висохлі струмки, резервуари; • параметри забруднення.
Надмірне використання ґрунтових вод	• дефіцит вологості; • зниження вмісту вологості; • бідний рослинний покрив.	• висохлі колодязі; • ґрунтова волога; • рослинний покрив, NDVI.
Перевипас	• дефіцит пасовищ; • повсюдний випас худоби; • оголені дерева.	• пасовища; • розташування стад; • рослинний покрив.
Неконтрольовані копальні	• область викопування; • спотворений ландшафт; • збільшення ерозії; • оголені землі; • мертвий рослинний покрив; • забруднення води; • забруднення повітря.	• великі діри розкопувань; • безладні поверхні ландшафту; • ознаки ерозії; • оголені поверхні; • рослинний покрив; • показники забруднення; • показники забруднення.
Сільське господарство	• деградація земель; • засолення ґрунту; • дефіцит води.	• різні ознаки; • соляна кірка; • висушені землі.
Вирубка лісу / лісові пожежі	• втрата лісів; • втрата пасовищ; • збільшення оголених земель; • збільшення ерозії; • зменшення опадів; • посуха.	• лісовий покрив; • покрив пасовищ; • оголені поверхні; • ознаки ерозії; • кліматичні параметри; • вологість ґрунту.

Джерело: [16].

пропонують набір індикаторів для оцінки чутливості території до появи цих феноменів (небезпека деградації, небезпека опустелювання).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для моніторингу посухи методами дистанційного зондування Землі велику роль відіграють дані нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) [1; 6] та нормалізованого диференційного водного індексу (NDWI) [2; 7].

NDVI реагує на зміни як вмісту хлорофілу, так і внутрішньоклітинних просторів у губчастому мезофілі листя рослин. Більш високі значення NDVI відображають більшу енергійність і фотосинтетичну здатність рослинного покриву, тоді як нижчі значення NDVI за той самий період часу відображають вегетативний стрес, що призводить до зменшення хлорофілу та зміни внутрішньої структури листя через в'янення. NDWI реагує на зміни як вмісту води, так і губчастого мезофілу в рослинних пологах відповідно [5].

Нормалізований вегетаційний індекс NDVI розраховується за формулою 1 [12]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

де: *NIR* — відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні спектра; *RED* — відбиття в червоному діапазоні спектра.

Нормування отриманого зображення — від -1 до 1.

Нормалізований водний індекс NDWI розраховується за формулою 2 [9]:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}, \quad (2)$$

де: *NIR* — відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні спектра; *Green* — відбиття у видимому зеленому діапазоні спектра.

Показники присутності рослинності значно нижчі за показники водних об'єктів (0,5 і вище), що дозволяє легко відрізнити рослинність від водойм. Будівельні об'єкти мають позитивні значення від 0 до 0,2.

Значення індексу NDWI відповідають таким діапазнам:

- 0,2–1,0 — поверхня води;
- 0,0–0,2 — затоплення, вологість;
- -0,3–0,0 — помірна посуха, неводні поверхні;

- $-1...-0,3$ — посуха, неводні поверхні.

Зв'язок між супутниковими показниками рослинності та вологістю ґрунту значною мірою залежить від неоднорідності ґрунтового покриття та типу ґрунту [5]. У поєднанні з даними про кількість опадів та аналізом ґрунтів на вміст вологи (у довосенний період) дають досить точну картину розвитку посушливих процесів.

Дослідження проводились у межах вибраних науково-дослідних ділянок Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, що розташовані поблизу населеного пункту Лазурне Мелітопольського району Запорізької області.

Використовувалися супутникові знімки Sentinel-2 [14] за часові проміжки: 27.04.2019, 01.05.2020, 26.04.2021, 26.04.2022, 06.05.2023, 10.05.2024.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

При формуванні та розвитку врожайності земель важливим є стан вологозабезпеченості сільськогосподарських культур. В останні роки вплив глобальних змін клімату, що спричиняють перебудову глобальних процесів переміщення повітряних мас, а отже, й розподіл тепла і вологи по континентах, зумовлює розвиток посухи. Для оцінки розвитку посушливих процесів за умови змін природно-кліматичних умов Запорізької області [10] та водної кризи, спричиненої терактом на Каховській ГЕС, доцільно використовувати дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Цей вид моніторингу є достатньо інформативним і надає актуальні дані в умовах тимчасової окупації території України.

Розроблені методи виявлення посухи із використанням засобів сучасних ГІС-технологій і методів дистанційного зондування Землі дають можливість продуктивніше застосовувати агротехнології для оптимізації умов водозабезпеченості. Інформація, отримана за даними супутникового моніторингу, дає можливість оперативного реагування та точної оцінки ситуації на негативні прояви погодно-кліматичних параметрів на посіви культурних рослин. Засоби ДЗЗ для виявлення посушливих процесів активно використовуються в США (NASA) і Європі (MARS), створені глобальна система спостереження Землі (GEOS) та система глобального моніторингу для довкілля і безпеки (GMES).

При визначенні розвитку посушливих процесів на локальному рівні доцільно використовувати аналіз стану посівів сільськогосподарських культур. Для оцінки існуючих умов вирощування сільськогосподарських культур було обрано кількісний показник чисельності фотосинтетичної активності біомаси нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) (рис. 1) [1; 6].

Для визначення показників вмісту вологи в рослинах було проаналізовано нормалізований диференційний водний індекс (NDWI) (рис. 2) [2; 7].

Дані каналу SWIR виявляють відмінності у вмісті вологи в рослинах, а канал NIR використовується для визначення внутрішньої структури листя і вмісту сухої речовини, та не вмісту води. Тому саме поєднання каналів SWIR і NIR дає можливість усунути зміни, викликані змінами у внутрішній структурі листя

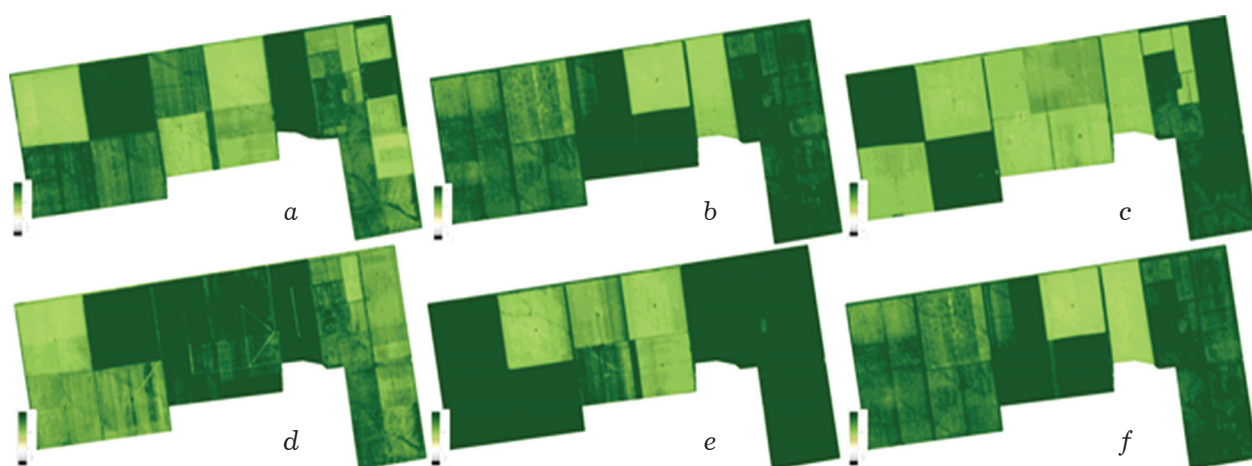


Рис. 1. Мультиспектральні знімки науково-дослідних полів ТДАТУ

Примітка: NDVI: a — 27.04.2019; b — 01.05.2020; c — 26.04.2021; d — 26.04.2022; e — 06.05.2023; f — 10.05.2024.

Джерело: виконано на основі власних досліджень.

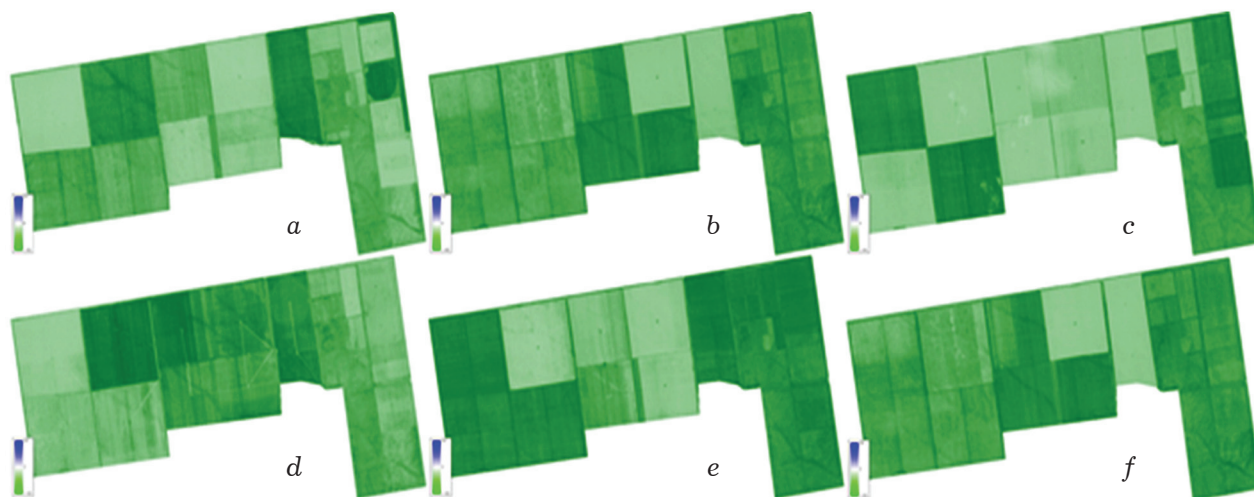


Рис. 2. Мультиспектральні знімки науково-дослідних полів ТДАТУ

Примітка: NDWI: a — 27.04.2019; b — 01.05.2020; c — 26.04.2021; d — 26.04.2022; e — 06.05.2023; f — 10.05.2024.

Джерело: виконано на основі власних досліджень.

та вмістом сухої речовини, підвищуючи точність визначення вмісту води в рослинах [13].

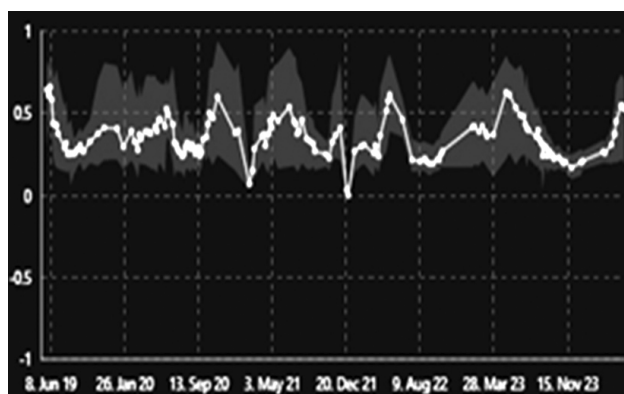
При аналізі супутникових знімків Sentinel-2 встановлено (рис. 1, 3), що в середині вегетаційного періоду 2019 року 27% (426 га) площі земель мали NDVI менше 0,2; у 2020 році — 14% (220 га); у 2021 році — 10% (147 га); у 2022 році — 31% (456 га); у 2023 році — 30% (253 га); а у 2024 році — 15% (223 га). Це може свідчити про проблеми з розвитком рослин.

Аналіз даних показника NDWI (рис. 2, 3) вказує на критичний рівень води ($-0,2$) на значній площі науково-дослідних ділянок. Розглядаючи річні коливання індексу, можна побачити чітку залежність від “вологих” місяців. У середині вегетаційного періоду 2024 року лише на площі 223 га показник NDWI пере-

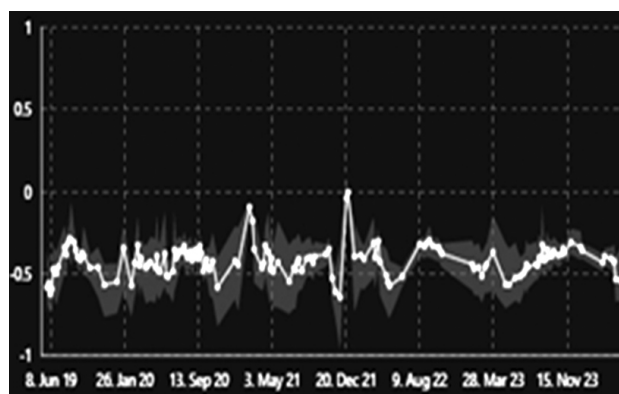
вищує значення $-0,2$, тоді як решта території зазнає критичних значень посухи.

При комплексному дослідженні агроєко-систем та їх екологічної паспортизації [3] важливим елементом є розробка дієвих заходів покращення екологічної ситуації. Для усунення наслідків посухи необхідно впровадити наступні заходи:

- розробка політики щодо посухи та створення комітету з питань посухи (заснування компетентного органу; визначення посухи як актуального питання управління водними ресурсами; розвиток національної політики щодо посухи на основі ризиків; прийняття урядового рішення або відповідного законодавства; створення комітету з питань посухи);



a



б

Рис. 3. Графіки зміни індексів NDVI (a) та NDWI (б) за період дослідження

Джерело: виконано на основі власних досліджень.

- визначення цілей політики управління посухами на основі ризиків;
- інвентаризація даних для розробки плану управління посухами;
- розробка плану управління посухами (визначення змісту плану управління посухами; характеристика і оцінка історичних посушливих процесів; встановлення індикаторів і граничних значень для класифікації посухи; створення системи раннього попередження; розробка програми заходів; створення організаційної структури для розробки, реалізації та оновлення плану управління посухами; визначення прогалів і невизначеностей);
- популяризація плану управління посухами для участі громадськості;
- розробка наукової і дослідницької програми;
- розробка освітньої програми в закладах вищої освіти.

ВИСНОВКИ

Отже, використання даних дистанційного зондування дозволило виявити розвиток посушливих процесів у межах досліджуваної території. Низькі значення індексу NDVI для досліджуваних полів вказують на проблеми з розвитком рослин. Показник NDWI значно нижчий за необхідний для нормальних ґрунтоутворюючих процесів. Цей аналіз свідчить, що ґрунти без зрошувальних меліорацій будуть деградувати. Із часом орні землі стануть непридатними для вирощування сільськогосподарських культур або використання їх як пасовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Brown J.F., Wardlow B.D., Tadesse T., Hayes M.J., Reed B.C. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GISci. Remote Sens.* 2008. No. 45. P. 16–46. DOI: 10.2747/1548-1603.45.1.16.
2. Chen D., Huang J., Jackson T. J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. *Remote Sens. Environ.* 2005. No. 98. P. 225–236. DOI: 10.1016/j.rse.2005.07.008
3. Datsenko L.M., Hanchuk M.M., Chebanova Yu.V., Kolomiets S.M., Lezhenkin I.O. The role of land management and cartographic works in the implementation of ecological certification of agricultural landscapes. *International Conference of Young Professionals "Geoterrace-2021"*. Oct. 2021. Vol. 2021. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K3040>
4. Dwivedi R.S., Kumar A.B., Tewari K.N. The utility of multi-sensor data for mapping eroded lands. *International Journal of Remote Sensing*. 1997. Vol. 18 (11). P. 2303–2318.
5. Gu Y., Hunt E., Wardlow B.D., Basara J.B., Brown J.F., Verdin J.P. Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data. *Geophys. Res. Lett.* 2008. No. 35 (22). DOI: 10.1029/2008GL035772.
6. Gu Y., Brown J.F., Verdin J. P., Wardlow B. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophys. Res. Lett.* 2007. No. 34 (L06407): 6. DOI: 10.1029/2006GL029127.
7. Jackson J.T., Chen D., Cosh M.H., Li F., Anderson M., Walthall C., Doriaswamy P., Hunt E.R. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sens. Environ.* 2004. No. 92 (4). P. 475–482. DOI: 10.1016/j.rse.2003.10.021
8. Latz K. et al. Characteristic variations in spectral reflectance of selected eroded alfisols. *Soil Science Society of America Journal*. 1984. No. 48 (5). P.1130–1134.
9. McFeeters, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*. 1996. No. 17 (7). P. 1425–1432. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>
10. Vozniuk N., Skyba V., Likho O., Sobko Z., Klymenko T. Forecasting the adaptability of heat-loving crops to climate change in Ukraine. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26, No. 2. P. 87–102. DOI: 10.48077/scihor.26(2).2023.87-102
11. Pelletier R.E., Griffin R.H. Remote sensing techniques for the detection of soil erosion and the identification of soil conservation practices. *Proceedings of IGARSS'85. IEEE*. University of Massachusetts. Amherst. Massachusetts. 1985. P. 40–45.
12. Rouse J.W.Jr., Haas H.R., Deering D.W., Schell J.A., Harlan J.C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Type III final report, 1973. 371 p., NASA Goddard Space Flight Cent., Greenbelt, Md.
13. Клімов С., Козішкурт С. Дистанційне зондування Землі для оцінки ризиків втрати родючості сухостепових ґрунтів при водній кризі. *Моделювання, керування та інформаційні технології: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції*. 2023. № 6. С. 214–217. DOI: <https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.066>
14. Романчук І.Ф., Сахатський О.І., Апостолов О.А. Оцінка вологості ґрунту за допомогою супутникових знімків Sentinel-2 (на прикладі Баришівського полігону Київської області). *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2018. № 1. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovid2018.01.060>
15. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг: монографія. К.: Аграр. наука, 2019. 204 с.
16. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Кучма Т.Л., Ільєнко Т.В. Аерокосмічний моніторинг опустелювання та деградації земель / за ред. О.І. Фурдичка. К., 2017. 55 с.

ECOLOGICAL MONITORING OF THE DEVELOPMENT OF ARIDITY PROCESSES IN THE ZAPORIZHZHIA REGION

Mudrak O.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Public Higher Educational Establishment “Vinnytsia Academy of Continuing Education”
(Vinnytsia, Ukraine)

e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>

Hanchuk M.

Candidate of Agricultural Sciences
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University (Zaporizhzhia, Ukraine)

e-mail: ganchukmn@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4052-5744>

Skyba V.

Candidate of Agricultural Sciences
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University (Zaporizhzhia, Ukraine)

e-mail: skiff_vika@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2233-9438>

Tsyhanov I.

Director
Zaporizhzhia Branch of the State Institution “Soils Protection Institute of Ukraine”
(Zaporizhzhia, Ukraine)

e-mail: zpgrunt@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3478-9968>

Hanchuk K.

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University (Zaporizhzhia, Ukraine)
e-mail: kateryna.hanchuk@tsatu.edu.ua

Drought ecological monitoring is a critical component of natural resource management and climate change response systems. It encompasses the assessment, analysis, and forecasting of drought conditions using modern technologies such as remote sensing, satellite imagery, geographic information systems (GIS), and mathematical modeling. The primary objectives of drought monitoring are the timely identification of risks, minimization of impacts on agriculture, water resources, and ecosystems, and the development of strategies for climate change adaptation. Monitoring aridity processes significantly influences decision-making in land use, agriculture, water resource management, and the planning of measures for climate adaptation. The study demonstrates the potential of using remote sensing data for detecting drought processes. For the analysis of satellite images, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Water Index (NDWI) were utilized. An analysis of Sentinel-2 satellite images revealed that in the middle of the 2024 growing season, 15% (223 hectares) had an NDVI below 0.2, indicating issues with plant development. The analysis of NDWI data indicates a critical moisture level (-0.2) over a significant area of the research plots. Thus, against the backdrop of the water crisis induced by the Russian Federation and global climate change, drought processes are actively developing in the Zaporizhzhia region.

Keywords: desertification, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), remote sensing, degradation, multispectral satellite imagery.

REFERENCES

1. Brown, J.F., Wardlow, B.D., Tadesse, T., Hayes, M.J., & Reed, B.C. (2008). The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GISci. Remote Sens.*, 45, 16–46. DOI: 10.2747/1548-1603.45.1.16. [in English].
2. Chen, D., Huang, J., & Jackson, T.J. (2005). Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. *Remote Sens. Environ.*, 98, 225–236. DOI: 10.1016/j.rse.2005.07.008 [in English].
3. Datsenko, L.M., Hanchuk, M.M., Chebanova, Yu.V., Kolomiets, S.M., & Lezhenkin, I.O. (2021). The role of land management and cartographic works in the implementation of ecological certification of agricultural landscapes. *International Conference of Young Professionals “Geoterrace-2021”*. (Oct. 2021) (p. 1–5). DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K3040> [in English].
4. Dwivedi, R.S., Kumar, A.B., & Tewari, K.N. (1997). The utility of multi-sensor data for mapping eroded lands. *International Journal of Remote Sensing*, 18 (11), 2303–2318 [in English].
5. Gu, Y., Hunt, E., Wardlow, B.D., Basara, J.B., Brown J.F., & Verdin, J.P. (2008). Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data. *Geophys. Res. Lett.*, 35 (22). DOI: 10.1029/2008GL035772. [in English].
6. Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P., & Wardlow, B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophys. Res. Lett.*, 34 (L06407): 6. DOI: 10.1029/2006GL029127. [in English].

7. Jackson, J.T., Chen, D., Cosh, M.H., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P., & Hunt, E.R. (2004). Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sens. Environ.*, 92 (4), 475–482. DOI: 10.1016/j.rse.2003.10.021 [in English].
8. Latz, K. et al. (1984). Characteristic variations in spectral reflectance of selected eroded alfisols. *Soil Science Society of America Journal*, 48 (5), 1130–1134 [in English].
9. McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17 (7), 1425–1432. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714> [in English].
10. Vozniuk, N., Skyba, V., Likho, O., Sobko, Z., & Klymenko, T. (2023). Forecasting the adaptability of heat-loving crops to climate change in Ukraine. *Scientific Horizons*, 26 (2), 87–102. DOI: 10.48077/scihor.26(2).2023.87-102 [in English].
11. Pelletier, R.E., & Griffin, R.H. (1985). Remote sensing techniques for the detection of soil erosion and the identification of soil conservation practices. *Proceedings of IGARSS'85. IEEE*. (p. 40–45). University of Massachusetts. Amherst. Massachusetts [in English].
12. Rouse, J.W.Jr., Haas, H.R., Deering, D.W., Schell, J.A., & Harlan, J.C. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Type III final report. NASA Goddard Space Flight Cent., Greenbelt, Md. [in English].
13. Klimov, S., & Kozishkurt, S., (2023). Dystantsiine zonduvannia Zemli dlia otsinky ryzykiv vtraty rodiuchosti sukhostepovykh gruntiv pry vodnii kryzi [Remote sensing of the Earth to assess the risks of loss of fertility of dry steppe soils during a water crisis]. *Modeliuvannia, keruvannia ta informatsiini tekhnologii: materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii — Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference*. (No. 6, p. 214–217). DOI: <https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.066> [in Ukrainian].
14. Romanchuk, I.F., Sakhatskyi, O.I., & Apostolov, O.A. (2018). Otsinka volohosti igruntu za dopomohoiu suputnykovykh znmkiv Sentinel-2 (na prykladi Baryshivskoho polihonu Kyivskoi oblasti). [The estimation of soil humidity by the satellite Sentinel-2 imageries (object of study is the Baryshivskiy district of the Kyiv region)]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy — Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 1, 60–66. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.01.060> [in Ukrainian].
15. Tarariko, O.H., Syrotenko, O.V., Iliencko T.V., & Kuchma T.L. (2019). *Ahroekolohichni suputnykovyi monitorynh: monohrafiia [Agroecological satellite monitoring: monograph]*. K.: Agrarian Science [in Ukrainian].
16. Furdychko, O.I. (Ed.), Tarariko, O.H., Syrotenko, O.V., Kuchma, T.L., & Iliencko, T.V. (2017). *Ahroekolohichni monitorynh opusteliuvannia ta dehradatsii zemel [Aerospace monitoring of desertification and land degradation]*. Kyiv [in Ukrainian].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

МУДРАК Олександр Васильович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Комунальний заклад вищої освіти “Вінницька академія безперервної освіти” (вул. Грушевського, 13, м. Вінниця, Україна, 21050; e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-6120>).

ГАНЧУК Максим Миколайович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного (вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, Україна, 69063; e-mail: ganchukmn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4052-5744>).

СКИБА Вікторія Павлівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного (вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, Україна, 69063; e-mail: skiff_vika@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2233-9438>).

ЦИГАНОВ Ігор Володимирович, директор, Запорізька філія ДУ “Держґрунтохорона” (вул. Дослідна станція, 94, м. Запоріжжя, Україна, 69031; e-mail: zpgrunt@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3478-9968>).

ГАНЧУК Катерина Олександрівна, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного (вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, Україна, 69063; e-mail: kateryna.hanchuk@tsatu.edu.ua).