

АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ЛИХОВИД П.В. – доктор сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-0314-7644

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Питання агроекологічного районування та картування територій на основі даних супутникового моніторингу є актуальною проблемою аграрної науки сьогодення. Агроекологічне районування потребує перегляду та динамічного оновлення відповідно до тих змін і трансформацій, які спостерігаються у метеорологічних умовах у зв'язку з глобальним потеплінням. Використання даних наземних спостережень і безпосередніх вимірювань є найбільш надійним методом фіксації кліматичних змін і формування відповідних рекомендацій щодо перегляду районування. Втім, складання динамічних карт на основі даних наземних спостережень, виконуваних на метеорологічних станціях, є більш витратним та трудомістким, у той час як системи аерокосмічного моніторингу у тісній інтеграції з ГІС здатні виконувати динамічне картування практично в напівавтоматичному режимі за попередньо заданими ключовими параметрами. Крім того, компліментарне застосування даних дистанційного зондування Землі поліпшуватиме точність картування і якість агроекологічного районування територій, оскільки здатне пропонувати рішення щодо оптимізації використання сільськогосподарських угідь відповідно до розрахункових індексів, які є високо специфічними для відображення певних явищ і процесів, що перебігають в агроекосистемах і мають безпосереднє відношення до їх продуктивності [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Уже зараз існує позитивний досвід застосування даних супутникового моніторингу та ГІС для агроекологічного районування територій. Так, ГІС у поєднанні з даними наземних метеорологічних спостережень та даними дистанційного моніторингу було застосовано для агроекологічного районування території Єгипту, базисом для якого слугувала розрахункова величина евапотранспірації [3]. Супутникові дані, одержані за допомогою Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) щодо величини EVI (Enhanced Vegetation Index) на полях рису, було успішно застосовано для вивчення агроекологічних особливостей зони вирощування культури з огляду на наслідки, спостережувані від затоплення рисових чеків [4]. Агроекологічне районування територій за допомогою ГІС і технологій дистанційного зондування Землі дозволяє оперативну та високоякісно сформувати вихідну просторову базу даних щодо температурного режиму, режиму вологості, вмісту поживних речовин і характеристик ґрунтового покриву, особливостей ростових процесів різ-

них рослинних угруповань, які потім можуть бути покладені в основу комплексної методології виділення зон і підзон, оптимальних для конкретних видів культурних або дикорослих рослин. Основною перевагою застосування ГІС-технологій у поєднанні з аерокосмічним моніторингом є можливість охоплення великих територій та висока гнучкість налаштування картографічних параметрів, а також можливість застосовувати найрізноманітніші розрахункові індекси для опосередкованої комплексної характеристики агроекологічних умов на територіях залежно від вхідної інформації, що надходить від супутникових сенсорів і сателітів [5, 6]. Поєднання даних супутникового моніторингу з математичними алгоритмами дозволяє виконувати високоточне картування агроекологічних зон для певних сільськогосподарських культур. Наприклад, аналіз часової серії NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) за допомогою рядів Фур'є було успішно використано для картування сезонних змін у вегетації [7]. Також за даними NDVI було виконано поділ Пенджабу на зони за накопиченням наземної біомаси рослин (низько-, середньо-, високопродуктивні), які потім лягли в основу подальшого агроекологічного районування територій штату Індії [8]. Щодо України, первинне дослідження можливості агроекологічного районування території за величиною NDVI довели можливість реалізації даного підходу та виокремлення оптимальних територій для вирощування таких культур, як соняшник, соя та кукурудза зернова [9]. Таким чином, аналіз літературних джерел, що описують поточний стан вивченості проблеми, свідчить про перспективність даної тематики та необхідність її наукового розвитку.

Мета. Метою роботи є ознайомити наукову спільноту із авторською методикою районування та картування сільськогосподарських угідь відповідно до ступеня їх придатності до культивування основних сільськогосподарських культур на базі даних аерокосмічного моніторингу, зокрема, комбінованого функціонального розрахунку величини комплексного індексу «NDWI-NDVI-NRI» або AEZI (Agroecological Zoning Index). Можливості та принципи застосування авторської методики оцінки AEZI представлено на базі дослідних полів Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН за 2021 та 2023 роки, а також для зони степу України в цілому (відповідно до класифікації [10]).

Матеріали та методика досліджень. Агроекологічне районування повинно відповідати, в першу чергу, розв'язанню конкретних практичних проблем

аграрної науки, однією з яких є встановлення відповідності умов навколишнього середовища потребам сільськогосподарських культур. Відповідність можна визначати за різними параметрами, але найбільш повноцінним буде комплексний підхід до оцінки екологічних умов. Зокрема, на сучасному етапі розвитку технології дистанційного зондування Землі дозволяють опосередковано оцінити такі параметри, як вологозабезпеченість, забезпеченість елементами живлення та загальний стан агрофітоценозів.

Оцінку вологозабезпеченості здійснюють за різними методиками, але однією з найбільш широко вживаних є методика оцінки нормалізованого диференційного водного індексу NDWI (Normalized Difference Water Index). Даний індекс дозволяє оцінити вміст вологи у вегетативній наземній масі рослин і таким чином встановити рівень водного стресу. Вже зараз існують напрацювання з оцінки інтенсивності посухи на сільськогосподарських угіддях за величиною NDWI [11].

Величина нормалізованого диференційного вегетаційного індексу NDVI є одним із найбільш широко вживаних у науці та практиці вегетаційних індексів. Сфера його застосування надзвичайно широка. Втім, найбільш важливим з точки зору агроекологічного районування є те, що величина даного вегетаційного індексу є доволі чутливою до кліматичних змін, і дуже тісно корелює з інтенсивністю накопичення наземної біомаси рослин, даючи підстави опосередковано оцінити стан посівів сільськогосподарських культур та відповідність умов вирощування їх біологічним потребам [12].

Для оцінки забезпеченості поживними речовинами можна застосувати індекс відбивання азоту

NRI (Nitrogen Reflectance Index), за величиною якого можна опосередковано з'ясувати ступінь забезпеченості цим елементом живлення, який є основою формування біомаси та врожаю для більшості сільськогосподарських культур. Науково-практичне застосування цього супутникового індексу на даний час є доволі обмеженим не тільки на теренах України, але й за кордоном. Втім, уже зараз доведено його цінність в оцінці потенційної продуктивності сільськогосподарських культур, зокрема таких, які споживають багато азоту на формування врожаю, де він не поступається за точністю моделювання врожайності більш широко використовуваному індексу NDVI [13].

Для того, щоб виконати агроекологічне районування територій, необхідною є градуїрована шкала кожного з супутникових індексів, яка б відображала їх відношення до реальних умов середовища та стану посівів сільськогосподарських культур. Шкали інтерпретації NDWI, NDVI та NRI, застосовані під час розробки комплексного індексу, наведено у табл. 1, 2 і 3, відповідно.

Розрахунок комплексного AEZI пропонуємо виконувати за формулою (1):

$$AEZI = \frac{NDWI + NDVI + NRI}{3} \times 100\% \quad (1)$$

де NDWI, NDVI та NRI – абсолютні середні за вегетаційний період величини відповідних супутникових індексів, розраховані за згладженою часовою серією.

Інтерпретацію комплексного агроекологічного індексу AEZI для районування сільськогосподарських земель (як універсального, так і специфічного) наведено в табл. 4.

Таблиця 1 – Інтерпретація величини NDWI (розрахованого за аерокосмічними знімками супутника Landsat-8 та Sentinel-2) з точки зору характеристики вологозабезпечення (адаптовано за [14, 15])

Величина NDWI	Вологозабезпеченість
0–0,30	Сильна посуха
0,31–0,40	Посуха
0,41–0,50	Помірна посуха, низька вологозабезпеченість
0,51–0,60	Низько-середня вологозабезпеченість
0,61–0,70	Середня вологозабезпеченість
0,71–0,80	Висока вологозабезпеченість
Понад 0,81	Надмірна вологозабезпеченість (затоплення посівів)

Таблиця 2 – Інтерпретація величини NDVI (розрахованого за аерокосмічними знімками супутника Landsat-8 та Sentinel-2) з точки зору загального стану рослин агрофітоценозу (адаптовано за [16])

Величина NDVI	Стан рослинного покриву
0–0,20	Рослинний покрив практично відсутній
0,21–0,30	Слабка рослинність, початкові стадії росту і розвитку культурних рослин або час перед збиранням врожаю та відмиранням культури
0,31–0,40	Незначний розвиток наземної вегетативної маси
0,41–0,50	Середньо розвинена вегетативна маса
0,51–0,60	Гарно розвинена вегетативна маса
0,61–0,70	Високорозвинена вегетативна маса
0,71–0,80	Дуже густа та гарно розвинена вегетативна маса
Понад 0,80	Надзвичайно сильно розвинена рослинність і вегетативна маса

Таблиця 3 – Інтерпретація величини NRI (розрахованого за аерокосмічними знімками супутників Landsat-8 та Sentinel-2) з точки зору характеристики забезпеченості рослин азотом (адаптовано за [17])

Величина NRI	Забезпеченість рослин азотом
0–0,30	Низька
0,31–0,50	Середня
0,51–0,70	Висока
Понад 0,71	Дуже висока

Таблиця 4 – Інтерпретація величини AEZI для районування сільськогосподарських земель (результат роботи авторів)

Величина AEZI	Придатність сільськогосподарських земель для вирощування сільськогосподарських культур
0–20%	Непридатні
21–30%	Малоприсадибні (слабокультурені землі)
31–40%	Умовно присадибні
41–60%	Присадибні
61–75%	Оптимальні
Понад 75%	Ідеальні умови (сумнівність достовірності розрахунку)

Практичне застосування розробленого індексу агроекологічного районування за даними дистанційного зондування Землі можливе як для загального (універсального) районування територій, так і для специфічного районування сільськогосподарських земель за їх відповідністю біологічним вимогам конкретної культури. При цьому під час виконання універсального районування використовуються величини супутникових індексів середні за вегетаційний період в цілому, а для специфічного – за вегетаційний період конкретної культури. Важливо використовувати супутникові знімки одного супутника (рекомендовано автором методики – Landsat-8), з мінімальною (до 10%) хмарністю та без спотворень і прогалів у зображеннях.

Результати досліджень. Для прикладу практичного застосування AEZI, наведемо універсальне загальне районування умов, що склалися на дослідних полях Інституту кліматично орієнтованого сільськогосподарства НААН, розташованих поблизу смт Наддніпрянське (Херсонський район, Херсонська область) у 2023 році впродовж вегетаційного

періоду (березень – жовтень) [18, 19]. Дані щодо величини супутникових індексів розраховували за знімками Landsat-8 та Sentinel-2, адаптованими з сервісу AgroMonitoring (табл. 5).

Згідно з результатами аналізу AEZI по експериментальних полях Інституту кліматично орієнтованого сільськогосподарства НААН, розташованих у смт Наддніпрянське Херсонської області, які у 2023 році через бойові дії кілька років знаходилися у фактично некультивованому стані (не проводилися належні заходи з обробки ґрунту, меліорації земель, зрошення, удобрення, тощо), цілком зрозумілою є їх загальна оцінка як малоприсадибних для культивування сільськогосподарських культур. Таким чином, підтверджено об'єктивність оцінки стану сільськогосподарських земель за величиною AEZI. Варто відмітити, що зниженню присадибності земель Інституту сприяло, в основному, відсутність зрошення, оскільки величина NDWI була мінімальною з усіх досліджуваних індексів, у той час як запаси азоту у поверхневому шарі ґрунту більшість вегетаційного періоду були на середньому рівні. Підтвер-

Таблиця 5 – Характеристика агроекологічних умов, що склалися на експериментальних ділянках Інституту кліматично орієнтованого сільськогосподарства НААН у вегетаційний період 2023 року за даними аерокосмічного моніторингу (супутник Landsat-8 та Sentinel-2) (результат роботи авторів)

Місяць	NDVI	NDWI	NRI	AEZI	Висновок
Березень	0,19	0	0,19	12,7%	Непридатні
Квітень	0,08	0,15	0,07	10,0%	Непридатні
Травень	0,48	0,23	0,31	34,0%	Умовно присадибні
Червень	0,41	0,15	0,40	32,0%	Умовно присадибні
Липень	0,37	0,15	0,40	30,7%	Умовно присадибні
Серпень	0,43	0,04	0,42	29,7%	Малоприсадибні
Вересень	0,37	0,04	0,40	27,0%	Малоприсадибні
Жовтень	0,31	0,10	0,41	27,3%	Малоприсадибні
Середнє	0,33	0,11	0,33	25,7%	Малоприсадибні

дженням може слугувати аналіз умов 2021 року для того самого полігону Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, коли належним чином виконувалися всі необхідні агротехнічні та меліоративні заходи (табл. 6). Встановлено, що основна частина активної вегетації культурних рослин (квітень – серпень) класифікована як умовно придатна та придатна для одержання сталих якісних врожаїв рослинницької продукції.

Додатково було виконано агроекологічну оцінку зони степу України в цілому за придатністю до вирощування кукурудзи на зерно, сої та соняшника як стратегічних культур. Оцінку виконували по 10 рендомізовано обраних незрошуваних полях із кожної області. В цілому було проаналізовано 100 полів по кожній культурі. Результати наведено у табл. 7.

Відповідно до результатів оцінки AEZI, у переважній більшості випадків основним лімітуючим фактором був рівень вологозабезпеченості, особливо, в південних і східних регіонах України. Враховуючи доволі високі вимоги до вологозабезпечення, особливо у кукурудзи зернової та сої, лише 7 із 25 адміністративно-територіальних областей України класифіковані як умовно придатні, тобто такі, де без штучного зволоження можливо одержати середні показники врожайності досліджуваних культур. Переважно сільськогосподарські землі України класифіковані як малопродатні, тобто такі, де без

уживання відповідних меліоративних і агротехнічних заходів неможливо одержувати стабільні високі врожаї якісної продукції досліджуваних культур.

У той самий час застосування зрошення за інтенсивних технологій вирощування кардинально змінює ситуацію, що продемонстровано результатами подібної оцінки AEZI для зрошуваних полів по областях України, які належать до зони степу та є традиційними регіонами виробництва зерна кукурудзи, насіння сої та соняшника (табл. 8).

Наочно агроекологічну класифікацію сільськогосподарських земель у зрошуваних умовах за їх придатністю до культивування кукурудзи, сої та соняшника наведено на мапі (рис. 1). Умовно придатні території позначено світло-зеленим, придатні – темно-зеленим кольором, відповідно. Картування здійснено за допомогою засобів програмного пакету Adobe Illustrator.

Наочне відображення результатів агроекологічного районування зони степу для стратегічних ярих культур України засвідчує про те, що три регіони з семи придатні до одержання сталих врожаїв зерна кукурудзи, і по чотири регіони – для одержання врожаїв насіння сої та соняшника.

Розроблена методологія індексу агроекологічного районування потребує подальшого наукового уточнення та апробації, у подальшому може стати однією з перспективних методик використання

Таблиця 6 – Характеристика агроекологічних умов, що склалися на експериментальних ділянках Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН у вегетаційний період 2021 року за даними аерокосмічного моніторингу (супутник Landsat-8 та Sentinel-2) (результат роботи авторів)

Місяць	NDVI	NDWI	NRI	AEZI	Висновок
Березень	0,28	0,12	0,39	26,3%	Малопродатні
Квітень	0,49	0,20	0,45	38,0%	Умовно придатні
Травень	0,59	0,40	0,34	44,3%	Придатні
Червень	0,55	0,24	0,37	38,7%	Умовно придатні
Липень	0,42	0,22	0,38	34,0%	Умовно придатні
Серпень	0,33	0,06	0,38	25,7%	Малопродатні
Вересень	0,27	0,09	0,36	24,0%	Малопродатні
Жовтень	0,25	0,13	0,37	25,0%	Малопродатні
Середнє	0,40	0,18	0,38	32,0%	Умовно придатні

Таблиця 7 – Характеристика агроекологічних умов на полях степу України у період активної вегетації кукурудзи на зерно за даними аерокосмічного моніторингу (супутник Landsat-8 та Sentinel-2) у незрошуваних умовах (результат роботи авторів)

Область	AEZI (кукурудза)	AEZI (соє)	AEZI (соняшник)	Висновок
Крим	21,0%	22,8%	25,1%	Малопродатні
Херсонська	21,5%	22,0%	26,0%	Малопродатні
Миколаївська	24,3%	23,0%	26,6%	Малопродатні
Одеська	24,5%	24,3%	30,0%	Малопродатні
Запорізька	22,0%	21,0%	27,4%	Малопродатні
Дніпропетровська	25,1%	25,1%	27,4%	Малопродатні
Кіровоградська	24,3%	27,4%	25,0%	Малопродатні
Донецька	23,6%	22,0%	22,0%	Малопродатні
Луганська	22,8%	26,6%	23,6%	Малопродатні
Харківська	21,8%	27,7%	23,3%	Малопродатні

Таблиця 8 – Характеристика агроекологічних умов на полях степу України у період активної вегетації кукурудзи на зерно за даними аерокосмічного моніторингу (супутник Landsat-8 та Sentinel-2) у зрошуваних умовах за інтенсивних агротехнологій (результат роботи авторів)

Область	AEZI (кукурудза)	AEZI (соя)	AEZI (соняшник)	Висновок
Крим	36,7%	48,1%	32,5%	Умовно придатні (кукурудза, соняшник); придатні (соя)
Херсонська	41,3%	41,0%	41,0%	Придатні
Миколаївська	33,2%	39,0%	41,9%	Умовно придатні (кукурудза, соя); придатні (соняшник)
Одеська	40,0%	37,1%	36,1%	Умовно придатні
Запорізька	39,0%	40,8%	41,3%	Умовно придатні (кукурудза, соя); придатні (соняшник)
Дніпропетровська	46,8%	42,9%	40,1%	Придатні (кукурудза, соя); умовно придатні (соняшник)
Кіровоградська	50,7%	46,8%	42,3%	Придатні
Донецька	н/д	н/д	н/д	н/д
Луганська	н/д	н/д	н/д	н/д
Харківська	н/д	н/д	н/д	н/д

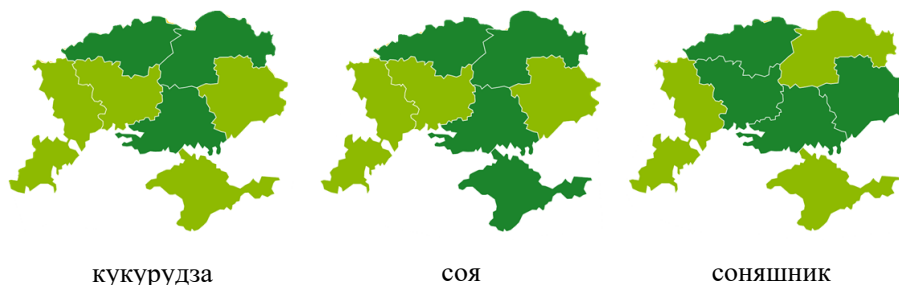


Рис. 1. Агроекологічна класифікація зрошуваних сільськогосподарських земель зони степу України згідно величини AEZI для кукурудзи, сої та соняшника

даних аерокосмічної зйомки в агрокліматичному та агроекологічному моніторингу сільськогосподарських земель.

Висновки. Агроекологічне районування територій можна здійснювати оперативнo та з високою точністю для великих за масштабами територій із застосуванням аерокосмічного моніторингу, а саме таких індексів, як NDVI, NDWI, NRI, за розрахунку комплексного індексу агроекологічного районування AEZI. Індекс агроекологічного районування дозволяє оцінити придатність сільськогосподарських земель до вирощування будь-яких сільськогосподарських культур із урахуванням таких важливих параметрів, які впливають на їх продуктивність, як вологозабезпеченості та поживний режим ґрунту. Застосування комплексу аерокосмічних спостережень та ГІС дозволяє виконувати оперативне динамічне картування територій за ступенем їх придатності до виробництва рослинницької продукції та виконувати динамічний і прогностичний аналіз агрокліматичної ситуації на територіях будь-якого масштабу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Nabati J., Nezami A., Neamatollahi E., Akbari M. GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions. *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 117. P. 106646. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106646
2. Tarariko O., Iliencko T., Kuchma T., Novakovska I. Satellite agroecological monitoring within the system of sustainable environmental management. *Agricultural Science and Practice*. 2019. Vol. 6. No. 1. P. 18–27. DOI: 10.15407/10.15407/agrisp6.01.018
3. Ismail M. Using remote sensing and GIS application in agro-ecological zoning of Egypt. *International Journal of Environmental Sciences*. 2012. Vol. 1. No. 2. P. 58–94.
4. Sakamoto T., Van Cao P., Van Nguyen N., Kotera A., Yokozawa M. Agro-ecological interpretation of rice cropping systems in flood-prone areas using MODIS imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2009. Vol. 75. No. 4. P. 413–424. DOI: 10.14358/PERS.75.4.413
5. Patel N. R., Mandal U. K., Pande L. M. Agro-ecological zoning system-a remote sensing and GIS

perspective. *Journal of Agrometeorology*. 2000. Vol. 2. No. 1. P. 1–13.

6. Pettorelli N., Laurance W. F., O'Brien T. G., Wegmann M., Nagendra H., Turner W. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*. 2014. Vol. 51. No. 4. P. 839–848. DOI: 10.1111/1365-2664.12261

7. Menenti M., Azzali S., Verhoef W., Van Swol R. Mapping agroecological zones and time lag in vegetation growth by means of Fourier analysis of time series of NDVI images. *Advances in Space Research*. 1993. Vol. 13. No. 5. P. 233–237. DOI: 10.1016/0273-1177(93)90550-U

8. Bal S. K., Choudhury B. U., Sood A., Bains G. S., Mukherjee J. Characterization of agro-ecological zones of Punjab state using remote sensing and GIS tools. *ISPRS/XXXVIII-8/W3 Workshop Proceedings: Impact of Climate Change on Agriculture*. 2009. P. 331–335.

9. Lykhovyd P. V. Using normalised difference vegetation index in classification and agroecological zoning of spring row crops. *Biosystems Diversity*. 2023. Vol. 31. No. 4. P. 506–512. DOI: 10.15421/012360.

10. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. Київ : Аграрна наука, 2005. 300 с.

11. Shashikant V., Mohamed Shariff A. R., Wayayok A., Kamal M. R., Lee Y. P., Takeuchi W. Utilizing TVDI and NDWI to classify severity of agricultural drought in Chuping, Malaysia. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 6. P. 1243. DOI: 10.3390/agronomy11061243

12. Lykhovyd P. Study of climate impact on vegetation cover in Kherson oblast (Ukraine) using normalized difference and enhanced vegetation indices. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22. No. 6. P. 126–135. DOI: 10.12911/22998993/137362

13. Diker K., Bausch W. C. Potential use of nitrogen reflectance index to estimate plant parameters and yield of maize. *Biosystems Engineering*. 2003. Vol. 85. No. 4. P. 437–447. DOI: 10.1016/S1537-5110(03)00097-7

14. 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. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. No. 6. P. L06407. DOI: 10.1029/2006GL029127

15. Amalo L. F., Ma'rufah U., Permatasari P. A. Monitoring 2015 drought in West Java using normalized difference water index (NDWI). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 149. No. 1. P. 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/149/1/012007

16. Antognelli S. NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use. URL: <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/> (дата звернення: 02.28.2024 p.)

17. Schleicher T. D., Bausch W. C., Delgado J. A., Ayers P. D. Evaluation and refinement of the nitrogen reflectance index (NRI) for site-specific fertilizer management. *2001 ASAE Annual Meeting*. 1998. P. 1–18.

18. Vozhehova R., Lykhovyd P., Biliaieva I. Aridity assessment and forecast for Kherson oblast (Ukraine) at the climate change. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2020. Vol. 14. P. 1455–1462.

19. Vozhehova R. A., Kokovikhin S. V., Lykhovyd P. V., Vozhehov S. H., Drobitko A. V. Artificial croplands and natural biosystems in the conditions of climatic changes:

possible problems and ways of their solving in the South Steppe Zone of Ukraine. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9. No. 6. P. 331–340.

REFERENCES:

1. Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020). GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 117, 106646. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106646

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

3. Ismail, M. (2012). Using remote sensing and GIS application in agro-ecological zoning of Egypt. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(2), 58–94.

4. Sakamoto, T., Van Cao, P., Van Nguyen, N., Kotera, A., & Yokozawa, M. (2009). Agro-ecological interpretation of rice cropping systems in flood-prone areas using MODIS imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(4), 413–424. DOI: 10.14358/PERS.75.4.413

5. Patel, N. R., Mandal, U. K., & Pande, L. M. (2000). Agro-ecological zoning system-a remote sensing and GIS perspective. *Journal of Agrometeorology*, 2(1), 1–13.

6. Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H., & Turner, W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839–848. DOI: 10.1111/1365-2664.12261

7. Menenti, M., Azzali, S., Verhoef, W., & Van Swol, R. (1993). Mapping agroecological zones and time lag in vegetation growth by means of Fourier analysis of time series of NDVI images. *Advances in Space Research*, 13(5), 233–237. DOI: 10.1016/0273-1177(93)90550-U

8. Bal, S. K., Choudhury, B. U., Sood, A., Bains, G. S., & Mukherjee, J. (2009). Characterization of agro-ecological zones of Punjab state using remote sensing and GIS tools. In *ISPRS/XXXVIII-8/W3 Workshop Proceedings: Impact of Climate Change on Agriculture*. (pp. 331–335).

9. Lykhovyd, P. V. (2023). Using normalised difference vegetation index in classification and agroecological zoning of spring row crops. *Biosystems Diversity*, 31(4), 506–512. DOI: 10.15421/012360

10. Polupan, M. I., Solovei, V. B., Velychko, V. A. (2005). Класифікація ґрунтів України [Classification of the soils of Ukraine]. Kyiv : Agrarna nauka. 300 pp.

11. Shashikant, V., Mohamed Shariff, A. R., Wayayok, A., Kamal, M. R., Lee, Y. P., & Takeuchi, W. (2021). Utilizing TVDI and NDWI to classify severity of agricultural drought in Chuping, Malaysia. *Agronomy*, 11(6), 1243. DOI: 10.3390/agronomy11061243

12. Lykhovyd, P. (2021). Study of climate impact on vegetation cover in Kherson oblast (Ukraine) using normalized difference and enhanced vegetation indices. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 126–135. DOI: 10.12911/22998993/137362

13. Diker, K., & Bausch, W. C. (2003). Potential use of nitrogen reflectance index to estimate plant parameters and yield of maize. *Biosystems Engineering*, 85(4), 437–447. DOI: 10.1016/S1537-5110(03)00097-7

14. 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. *Geophysical Research Letters*, 34(6), L06407. DOI: 10.1029/2006GL029127

15. Amalo, L. F., Ma'rufah, U., & Permatasari, P. A. (2018). Monitoring 2015 drought in West Java using normalized difference water index (NDWI). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 149(1), 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/149/1/012007

16. Antognelli, S. (2018). NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use. URL: <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>

17. Schleicher, T. D., Bausch, W. C., Delgado, J. A., & Ayers, P. D. (1998). Evaluation and refinement of the nitrogen reflectance index (NRI) for site-specific fertilizer management. In *2001 ASAE Annual Meeting* (pp. 1–18).

18. Vozhehova, R., Lykhovyd P., & Biliaieva, I. (2020). Aridity assessment and forecast for Kherson oblast (Ukraine) at the climate change. *EurAsian Journal of Bio-Sciences*, 14, 1455–1462.

19. Vozhehova, R. A., Kokovikhin, S. V., Lykhovyd, P. V., Vozhehov, S. H., & Drobitko, A. V. (2018). Artificial croplands and natural biosystems in the conditions of climatic changes: possible problems and ways of their solving in the South Steppe Zone of Ukraine. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 331–340.

Лиховид П.В. Агроекологічна оцінка сільськогосподарських земель за даними дистанційного зондування Землі

Мета. Ознайомити наукову спільноту із авторською методикою районування та картування сільськогосподарських угідь відповідно до ступеня їх придатності до культивування основних сільськогосподарських культур на базі даних аерокосмічного моніторингу, зокрема, комбінованого функціонального розрахунку величини комплексного індексу «NDWI-NDVI-NRI» або AEZI (Agroecological Zoning Index). Можливості та принципи застосування авторської методики оцінки AEZI представлено на базі дослідних полів Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН за 2021 та 2023 роки, а також для зони степу України в цілому. **Методи.** Індекс агроекологічного районування сільськогосподарських земель розроблено на основі інтегративної розрахункової оцінки величин нормалізованого диференційного вегетаційного індексу, нормалізованого диференційного водного індексу та індексу відбивання азоту, що слугують для комплексної оцінки стану посівів, їх вологозабезпечення та рівня забезпечення основним елементом живлення – азотом. Розрахунок індексів виконували за аерокосмічними знімками супутників Landsat-8 та Sentinel-2 із роздільною здатністю 250 м, згладжена часова серія, знімки вільні від захмарення та інших спотворень. Програмне забезпечення – AgroMonitoring API. картування зони степу України відповідно до класифікації за величиною індексу агроекологічного районування для зрошуваних і неполивних умов виконували в Adobe Illustrator. **Результати.** Агроекологічна класифікація сільськогосподарських угідь Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН у 2023 році засвідчила про негативний вплив бойових дій на ступінь окультуреності

і агрономічної придатності земель до культивування більшості сільськогосподарських культур, при цьому у 2021 році експериментальні поля Інституту належали до умовно придатних і придатних згідно розробленої класифікації, що вказує на високий вплив раціональної агротехнології і насамперед зрошення у формуванні придатності сільськогосподарських земель до одержання сталих високих врожаїв основних культур. Аналіз умов зони степу в цілому засвідчив, що у незрошуваних умовах сільськогосподарські землі даної зони є малоприсадними до культивування кукурудзи на зерно, сої та соняшника. Але в зрошуваних умовах більшість територій переходить до класу умовно придатних та повністю придатних земель, що є додатковим свідченням на користь високої ваги фактору зрошення в забезпеченні продовольчої безпеки України на даному етапі в умовах трансформації клімату. **Висновки.** Агроекологічне районування територій можна здійснювати оперативно та з високою точністю для великих за масштабами територій із застосуванням аерокосмічного моніторингу, а саме таких індексів, як NDVI, NDWI, NRI, за розрахунку комплексного індексу агроекологічного районування AEZI. Індекс агроекологічного районування дозволяє оцінити придатність сільськогосподарських земель до вирощування будь-яких сільськогосподарських культур із урахуванням таких важливих параметрів, які впливають на їх продуктивність, як вологозабезпеченості та поживний режим ґрунту. Застосування комплексу аерокосмічних спостережень та ГІС дозволяє виконувати оперативне динамічне картування територій за ступенем їх придатності до виробництва рослинницької продукції та виконувати динамічний і прогностичний аналіз агрокліматичної ситуації на територіях будь-якого масштабу.

Ключові слова: аерокосмічний моніторинг, нормалізований диференційний вегетаційний індекс, нормалізований диференційний водний індекс, індекс відбивання азоту, індекс агроекологічного районування.

Lykhovyd P.V. An agro-ecological assessment of agricultural land based on remote sensing of the Earth

Purpose. To acquaint the scientific community with the author's method of zoning and mapping of agricultural lands according to the degree of their suitability for the cultivation of the main agricultural crops on the base of spatial monitoring, in particular, the combined functional calculation of the value of the complex index "NDWI-NDVI-NRI" or AEZI (Agroecological Zoning Index). Possibilities and principles of applying the author's AEZI assessment methodology are presented based on experimental fields of the Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences for 2021 and 2023, as well as for the Steppe zone of Ukraine as a whole. **Methods.** The Agroecological Zoning Index was developed on the basis of an integrative calculation of the values of the normalised difference vegetation index, the normalised difference water index and the nitrogen reflectance index, which serve for a comprehensive assessment of the crop's conditions, e.g., moisture supply and available nitrogen. The indices were calculated using Landsat-8 and Sentinel-2 aerospace images with a resolution of 250 m, smoothed time series, images free from clouds and other distortions. Software – AgroMonitoring API. Mapping of the Steppe zone of Ukraine according to the

classification by the value of the Agroecological Zoning Index for irrigated and non-irrigated conditions was performed in Adobe Illustrator. **Results.** The agroecological classification of agricultural lands of the Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences in 2023 testified about the negative impact of military activities on the degree of cultivation and agronomic suitability of lands for the cultivation of most agricultural crops, while in 2021 the experimental fields of the Institute belonged to the conditionally suitable and suitable classes according to the developed classification, which indicates the high impact of rational agrotechnology and, first of all, irrigation in shaping the suitability of agricultural land for obtaining constant high yields of the main crops. The analysis of the conditions of the Steppe zone proved that, in non-irrigated conditions, the agricultural lands of this zone are not suitable for the cultivation of maize, soybean and sunflower. But under irrigated conditions, most of the territories fall into the class of conditionally suitable and suitable lands, which is additional evidence in favour of the high weight of the irrigation factor in ensuring

food security in Ukraine at this stage in the conditions of climate transformation. **Conclusions.** Agroecological zoning can be performed in a timely and accurate manner for large-scale territories using aerospace monitoring, namely such indices as NDVI, NDWI, and NRI, based on the calculation of the complex index of agroecological zoning AEZI. The index of agroecological zoning allows one to assess the suitability of agricultural land for the cultivation of any agricultural crops, taking into account such important parameters that affect their productivity, such as moisture availability and nutrient status of the soil. The use of a complex of aerospace observations and GIS allows to carry out operational dynamic mapping of territories according to the degree of their suitability for the production of plant products and to perform dynamic and prognostic analysis of the agro-climatic situation in territories of any scale.

Key words: spatial monitoring, normalised difference vegetation index, normalised difference water index, nitrogen reflectance index, agroecological zoning index.