

ФЕНОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Лиховид П., д-р с.-г. наук,

e-mail: pavel.likhovid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0314-7644>

Вожегова Р., д-р с.-г. наук, професор, академік НААН,

e-mail: icsanaas@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>

Грановська Л., д-р екон. наук, професор, член-кореспондент НААН,

e-mail: g_ludmila15@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7021-3093>

Юзюк С., канд. с.-г. наук,

e-mail: qwerty7536857496@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8761-642X>

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН

Біднина І., канд. с.-г. наук,

e-mail: irinabidnina@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8351-2519>

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Анотація

Стаття присвячена вивченню можливостей залучення даних аерокосмічного моніторингу для виконання дистанційного контролю та спостереження за ростом і розвитком сільськогосподарських культур.

Мета досліджень – розробити та науково обґрунтувати методологічний підхід до застосування даних дистанційного зондування Землі в сфері фенологічного моніторингу сільськогосподарських культур на прикладі соняшника, сої та кукурудзи на зерно.

Методи. Методологічний підхід до дистанційного фенологічного моніторингу посівів розроблено на основі результатів польових і камеральних досліджень, виконаних протягом вегетаційного періоду 2018 року на 750 полях (по 250 полів для кожної досліджуваної культури, по 10 полів на кожен адміністративно-територіальну область України). Дослідження виконано для незрошуваних умов. Встановлення фенологічних фаз виконувалося за міжнародною методикою ВВСН. Дані дистанційного зондування Землі обраховувалися за супутниковими знімками супутниковими знімками «Sentinel-2», представленими на картографічному моніторинговому ресурсі «Agromonitoring Crop Map». Математична обробка результатів зроблена в табличному процесорі «Microsoft Excel 365» та за допомогою статистичної програми «BioStat v.7». Фенологічний моніторинг посівів виконувався з прив'язкою до відповідної величини нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI).

Результати. Установлено, що величина нормалізованого диференційного вегетаційного індексу може бути застосована для виконання дистанційного фенологічного моніторингу на посівах досліджуваних культур. За фазами вегетації соняшника пікові величини індексу зафіксовано у фазу ВВСН 51-69, сої – ВВСН 71-79, кукурудзи на зерно – ВВСН 61-69 відповідно. Встановлені певні відмінності у перебігу фенологічного розвитку досліджуваних культур за різними адміністративно-територіальними та природно-кліматичними зонами України, однак зафіксовані відмінності не мають вирішального значення. Запропоновано інтервальну шкалу нормалізованого диференційного вегетаційного індексу для дистанційної оцінки фенологічного розвитку соняшника, сої та кукурудзи на зерно.

Висновки. За результатами наукової роботи розроблено та запропоновано інноваційний методологічний підхід до дистанційного фенологічного моніторингу посівів соняшника, сої та кукурудзи на зерно. Запропонована інтервальна шкала фенологічних фаз відповідно до величи-

ни нормалізованого диференційного вегетаційного індексу є зручним інструментом у науковій і практичній діяльності.

Ключові слова: вегетація, кукурудза, нормалізований диференційний вегетаційний індекс, соняшник, соя.

Вступ. Дані дистанційного зондування Землі (далі — ДЗЗ) в агрономії є джерелом цінної інформації про стан і характеристики агроєкосистем. Перевагою впровадження ДЗЗ є можливість оперативного, маловитратного та водночас високоточного вивчення та оцінки природних і штучних об'єктів на територіях різного масштабу: від ділянок площею декількох десятків квадратних метрів до площ у декілька тисяч квадратних кілометрів. У сучасній аграрній науці та практиці ДЗЗ для вирішення таких завдань використовується як динамічний моніторинг і прогнозування стану агроєкосистем як у цілому, так і їхніх окремих складових (грунт, рослинний покрив); прогнозування продуктивності посівів сільськогосподарських культур; моніторинг і прогнозування агрокліматичної ситуації; дослідження особливостей екологічної рівноваги фітоценозів; картування сільськогосподарських угідь; управління природними ресурсами (зокрема, водними та земельними) [Steven & Clark, 2013]. Залучення ДЗЗ для вирішення вищезазначених наукових і практичних завдань дає змогу істотно скоротити витрати часу, робочої сили та фінансових ресурсів, які є необхідними для проведення прямих наземних спостережень, вимірювань та аналізу стану об'єктів на великих площах.

Одним із доволі витратних із точки зору часу та матеріально-трудових ресурсів є фенологічний моніторинг посівів сільськогосподарських культур на рівні великих аграрних підприємств і холдингів, у розпорядженні яких є десятки тисяч гектарів земель. Проведення вчасного оперативного фенологічного моніторингу на таких великих земельних масивах є досить трудомісткою та високовитратною справою, але нехтувати ним не можна, оскільки відстеження росту і розвитку культурних рослин є запорукою ухвалення своєчасних і правильних управлінських

рішень щодо коригування агротехнології, як, наприклад, раціональний термін внесення страхових гербіцидів, захисту рослин від шкідників і хвороб, підживлення, планування термінів збирання врожаю тощо [Ruml & Vulić, 2005]. Для економії витрат матеріально-технічних і трудових ресурсів на виконання фенологічного моніторингу перспективним варіантом є залучення можливостей ДЗЗ. Дані супутникового моніторингу, зокрема вегетаційні індекси, які відображають загальний стан і продуктивність посівів сільськогосподарських культур, можна прив'язати до відповідних фенологічних фаз і таким чином провадити віддалений моніторинг росту й розвитку рослин на будь-яких земельних масивах незалежно від їхніх просторових характеристик. Це дасть змогу істотно оптимізувати проведення фенологічних спостережень у агропідприємствах і підвищити економічну ефективність виробництва продукції рослинництва [Osinnii et al., 2022].

Постановка завдань. На основі вищезазначеного окреслена мета цієї роботи — розробити та науково обґрунтувати методологічний підхід до дистанційного фенологічного моніторингу посівів основних стратегічних культур України, зокрема соняшника, сої та кукурудзи на зерно, а також запропонувати практичний інструмент віддаленого моніторингу вегетації досліджуваних культур для використання у науково-практичних цілях.

Методи і матеріали. Дослідження виконано з використанням історичних супутникових даних за травень-листопад 2018 року. Базисом оцінки росту і розвитку рослин кукурудзи на зерно, сої та соняшника були комбіновані знімки сателітів «Landsat-8» і «Sentinel-2» з роздільною здатністю 250 метрів, отримані на сервісі Agromonitoring API, за якими обчислено величини нормалізованого диференційного вегетаційного індексу у динаміці. У ході виконання дослі-

дження вегетаційний індекс обраховувався лише для знімків, вільних від спотворень і білих плям, спричинених атмосферними явищами, зокрема хмарністю. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) оцінено за стандартною методикою [Rokni & Musa, 2019].

Дослідні поля було обрано рандомно, щоб у кожному адміністративно-територіальному регіоні України було представлено по 10 незрошуваних масивів із кожною досліджуваною культурою. Таким чином, на кожна область припадало по 30 полів, а на всю Україну – 750 полів, за якими було виконано науково-аналітичну роботу. Вивченню підлягали виключно незрошувані масиви, що дало змогу продемонструвати вплив агрометеорологічних умов різних зон зволоження та температурного режиму України на ростові процеси досліджуваних сільськогосподарських культур.

Величина нормалізованого диференційного вегетаційного індексу асоціювалася з основними фазами росту і розвитку досліджуваних культур, які для більшої зручності представлені за міжнародною шкалою BBCH [Meier et al., 2009]. Окремі фенологічні фази були об'єднані, оскільки нерівномірність надходження даних дистанційного зондування та помісячний крок у дослідних даних не дає змоги виділяти всі проміжні фази росту й розвитку культурних рослин.

Після уніфікації результатів дослідження для території України в цілому розроблено та запропоновано інтервальну шкалу фенологічного розвитку кукурудзи на зерно, сої та соняшника з урахуванням результатів космічних спостережень. Коефіцієнт варіювання розраховано за загальновизнаною методикою [Reed et al., 2002].

Результати і обговорення. За результатами досліджень установлено основні тренди у величині нормалізованого диференційного вегетаційного індексу, що відображають процеси росту й розвитку досліджуваних сільськогосподарських культур, які мають певні характерні особливості для кожного регіону України. Так, наприклад, для кукурудзи на зерно встановлено, що пікові величини вегетаційного індексу досягнуто в серпні (за винятком Криму, де пік розвитку припадає на липень, а також більшості регіонів Західної України, Чернігівської та Житомирської областей, де культура висівається пізніше, тому терміни досягнення пікового росту й розвитку досягаються у вересні), що на більшості посівів відповідає фенологічній фазі BBCH 61-69 (табл. 1). Коефіцієнт варіювання становив 19,87-37,05%.

Стосовно сої спостерігалася більша неоднорідність за регіонами України. Так, на півдні країни пікові значення ростових процесів згідно з величиною нормалізованого диференційного вегетаційного

Таблиця 1 – Величина нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) за регіонами України для кукурудзи на зерно

Регіон України	NDVI						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	2	3	4	5	6	7	8
Крим	0,16	0,21	0,38	0,34	0,27	0,18	0,12
Херсонська обл.	0,13	0,17	0,41	0,43	0,27	0,15	0,12
Миколаївська обл.	0,12	0,17	0,40	0,54	0,36	0,21	0,12
Одеська обл.	0,13	0,18	0,37	0,51	0,40	0,22	0,11
Запорізька обл.	0,11	0,19	0,33	0,46	0,39	0,21	0,14
Дніпропетровська обл.	0,11	0,20	0,39	0,57	0,38	0,20	0,11
Кіровоградська обл.	0,11	0,14	0,36	0,60	0,42	0,16	0,12
Донецька обл.	0,13	0,23	0,37	0,48	0,35	0,18	0,10
Луганська обл.	0,13	0,18	0,35	0,51	0,32	0,16	0,11
Харківська обл.	0,10	0,23	0,33	0,41	0,37	0,13	0,11

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Сумська обл.	0,13	0,18	0,33	0,73	0,73	0,36	0,12
Чернігівська обл.	0,16	0,21	0,34	0,65	0,70	0,32	0,17
Київська обл.	0,13	0,19	0,32	0,67	0,65	0,36	0,11
Черкаська обл.	0,15	0,16	0,37	0,63	0,48	0,17	0,10
Полтавська обл.	0,11	0,12	0,33	0,65	0,45	0,17	0,11
Вінницька обл.	0,13	0,20	0,36	0,68	0,67	0,34	0,13
Чернівецька обл.	0,12	0,19	0,36	0,59	0,59	0,29	0,13
Закарпатська обл.	0,17	0,22	0,25	0,45	0,56	0,30	0,11
Львівська обл.	0,18	0,25	0,44	0,60	0,65	0,43	0,13
Волинська обл.	0,20	0,21	0,37	0,59	0,70	0,44	0,17
Івано-Франківська обл.	0,17	0,24	0,36	0,50	0,56	0,35	0,13
Тернопільська обл.	0,13	0,23	0,41	0,60	0,57	0,33	0,11
Хмельницька обл.	0,15	0,18	0,31	0,67	0,66	0,42	0,14
Рівненська обл.	0,18	0,23	0,32	0,47	0,64	0,40	0,18
Житомирська обл.	0,15	0,20	0,35	0,61	0,62	0,47	0,15
Україна в цілому	0,13	0,19	0,35	0,56	0,50	0,27	0,13

індексу на посівах сої зафіксовано у серпні, водночас у регіонах із традиційно кращим природним забезпеченням вологою та пом'якшеним температурним режимом (північ і захід України) пікові значення індексу зафіксовано пізніше, у вересні. Фенологічно це відповідає переважно фенологічній фазі ВВСН 71-79 або у період, який передую повному досягання та по-

чатку відмирання вегетативної маси рослин культури (табл. 2).

Коефіцієнт варіювання нормалізованого диференційного вегетаційного індексу у ході спостережень за посівами сої коливався у межах 25,66-40,37%.

Щодо соняшника основна маса посівів цієї культури, за винятком Херсонської та Донецької областей України, досягає пі-

Таблиця 2 – Величина нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) за регіонами України для сої

Регіон України	NDVI						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	2	3	4	5	6	7	8
Крим	0,20	0,29	0,32	0,35	0,35	0,23	0,16
Херсонська обл.	0,20	0,21	0,34	0,35	0,34	0,26	0,17
Миколаївська обл.	0,15	0,22	0,32	0,49	0,31	0,20	0,14
Одеська обл.	0,25	0,32	0,38	0,39	0,28	0,20	0,16
Запорізька обл.	0,12	0,18	0,36	0,41	0,29	0,20	0,13
Дніпропетровська обл.	0,15	0,28	0,41	0,43	0,37	0,18	0,14
Кіровоградська обл.	0,11	0,20	0,40	0,60	0,48	0,20	0,13
Донецька обл.	0,16	0,24	0,30	0,35	0,43	0,30	0,16
Луганська обл.	0,15	0,26	0,55	0,42	0,36	0,20	0,12
Харківська обл.	0,16	0,46	0,45	0,42	0,39	0,18	0,14
Сумська обл.	0,17	0,20	0,34	0,67	0,79	0,33	0,13
Чернігівська обл.	0,17	0,22	0,39	0,54	0,59	0,32	0,20
Київська обл.	0,13	0,19	0,38	0,62	0,62	0,31	0,15

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Черкаська обл.	0,15	0,24	0,46	0,64	0,59	0,26	0,13
Полтавська обл.	0,12	0,22	0,45	0,60	0,50	0,19	0,12
Вінницька обл.	0,11	0,18	0,36	0,68	0,75	0,32	0,13
Чернівецька обл.	0,16	0,21	0,33	0,65	0,73	0,37	0,14
Закарпатська обл.	0,20	0,22	0,27	0,48	0,70	0,39	0,14
Львівська обл.	0,20	0,25	0,32	0,53	0,72	0,51	0,24
Волинська обл.	0,20	0,21	0,28	0,51	0,70	0,36	0,15
Івано-Франківська обл.	0,17	0,20	0,36	0,60	0,71	0,39	0,13
Тернопільська обл.	0,11	0,19	0,34	0,55	0,63	0,40	0,14
Хмельницька обл.	0,14	0,18	0,26	0,63	0,71	0,33	0,12
Рівненська обл.	0,14	0,20	0,28	0,56	0,70	0,36	0,11
Житомирська обл.	0,16	0,22	0,36	0,66	0,75	0,32	0,11
Україна в цілому	0,15	0,24	0,37	0,52	0,53	0,27	0,14

кового розвитку у фенологічну фазу ВВСН 51-69, що календарно у більшості регіонів України припадає на серпень (табл. 3). Коефіцієнт варіювання досліджуваного індексу становив 16,01-35,82%, тобто був мінімальним серед культур, поставлених на вивчення.

Враховуючи середні терміни настання фенологічних фаз розвитку досліджуваних культур, нами розроблено інтервальну шкалу їхнього фенологічного розвитку та асоційованих середніх величин нормалізованого диференційного вегетаційного індексу для кожної фенофази.

Таблиця 3 – Величина нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) за регіонами України для соняшника

Регіон України	NDVI						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	2	3	4	5	6	7	8
Крим	0,22	0,24	0,40	0,42	0,35	0,24	0,15
Херсонська обл.	0,17	0,22	0,55	0,52	0,25	0,17	0,13
Миколаївська обл.	0,15	0,18	0,44	0,63	0,39	0,18	0,14
Одеська обл.	0,17	0,20	0,53	0,63	0,42	0,19	0,15
Запорізька обл.	0,11	0,19	0,52	0,56	0,41	0,21	0,12
Дніпропетровська обл.	0,13	0,19	0,44	0,63	0,40	0,17	0,13
Кіровоградська обл.	0,12	0,13	0,33	0,57	0,53	0,21	0,12
Донецька обл.	0,13	0,21	0,26	0,40	0,46	0,22	0,15
Луганська обл.	0,11	0,19	0,29	0,52	0,43	0,21	0,12
Харківська обл.	0,10	0,18	0,38	0,55	0,35	0,17	0,13
Сумська обл.	0,18	0,21	0,39	0,74	0,53	0,18	0,13
Чернігівська обл.	0,15	0,21	0,31	0,66	0,59	0,22	0,15
Київська обл.	0,13	0,19	0,42	0,71	0,43	0,20	0,13
Черкаська обл.	0,16	0,28	0,45	0,64	0,45	0,20	0,16
Полтавська обл.	0,12	0,16	0,45	0,67	0,37	0,23	0,11
Вінницька обл.	0,11	0,19	0,36	0,72	0,46	0,20	0,14
Чернівецька обл.	0,16	0,23	0,41	0,60	0,37	0,21	0,15

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Полтавська обл.	0,12	0,16	0,45	0,67	0,37	0,23	0,11
Вінницька обл.	0,11	0,19	0,36	0,72	0,46	0,20	0,14
Чернівецька обл.	0,16	0,23	0,41	0,60	0,37	0,21	0,15
Закарпатська обл.	0,14	0,23	0,42	0,61	0,48	0,25	0,13
Львівська обл.	0,20	0,35	0,55	0,59	0,44	0,29	0,19
Волинська обл.	0,18	0,23	0,43	0,66	0,60	0,27	0,17
Івано-Франківська обл.	0,20	0,27	0,40	0,62	0,55	0,34	0,21
Тернопільська обл.	0,19	0,28	0,51	0,60	0,40	0,29	0,14
Хмельницька обл.	0,15	0,21	0,44	0,70	0,36	0,20	0,15
Рівненська обл.	0,17	0,20	0,45	0,64	0,44	0,23	0,19
Житомирська обл.	0,21	0,22	0,37	0,65	0,54	0,20	0,12
Україна в цілому	0,15	0,20	0,40	0,60	0,44	0,21	0,13

Пропонована шкала розроблена за середніми по Україні даними щодо динаміки зміни нормалізованого диференційного вегетаційного індексу на посівах досліджуваних культур у незрошуваних умовах. Представлені результати тісно корелюють із останніми вітчизняними дослідженнями, виконаними за 2016-2021 рр. для умов Півдня України, особливо стосовно динаміки наростання величини супутникового вегетаційного індексу [Lykhovyd, 2021]. Однак у ході оцінки на загальнодержавному рівні помітні певні відмінності в амплітуді коливання показника, що пов'язано зі строкатістю агрокліматичних і ґрунтових умов, а також різницею в термінах сівби та збирання врожаю і агротехнічних прийомах, застосовуваних у різних агропродовольчих умовах України. Варто

зауважити, що незалежно від зони дослідження величина нормалізованого диференційного вегетаційного індексу в межах 0,10-0,20 відповідає фактично вільній від вегетуючої рослинності поверхні ґрунту або початковим етапам росту й розвитку культурних рослин. Спотворювати результати дистанційного моніторингу на початку росту й розвитку сільськогосподарських культур може високий рівень забур'яненості посівів, оскільки наразі ще неможливо автоматично відокремити масиви культурних рослин від бур'янів у ході аналізу супутникових знімків, для цього потрібно застосовувати додаткові технології машинного навчання для виділення засмічених ділянок за спектральними зображеннями [Yang et al., 2004].

Свідчення про успішне застосування да-

Таблиця 4 - Інтервальна шкала фенологічного розвитку кукурудзи на зерно, соняшника та сої за величиною нормалізованого диференційного вегетаційного індексу

Соняшник		Кукурудза на зерно		Соя	
NDVI	BBCH	NDVI	BBCH	NDVI	BBCH
0,11...0,19	00-09	0,09...0,17	00-09	0,10...0,20	00-09
0,14...0,24	10-14	0,13...0,25	10-20	0,15...0,33	10-19
0,30...0,50	15-39	0,25...0,45	21-59	0,26...0,48	21-29
0,50...0,70	51-69	0,45...0,67	61-69	0,38...0,66	51-69
0,31...0,57	71-79	0,37...0,63	71-77	0,37...0,69	71-79
0,13...0,29	80-89	0,18...0,36	83-89	0,17...0,37	81-88
0,09...0,17	92-99	0,09...0,17	92-99	0,09...0,19	89-99

них щодо супутникового нормалізованого диференційного вегетаційного індексу у моніторингу фенологічного розвитку досліджуваних нами сільськогосподарських культур трапляються і в працях закордонних авторів. Так, наприклад, дані щодо NDVI, обчисленого за знімками сателіту «Sentinel-2», дають змогу проводити дистанційне спостереження за ростом і розвитком рослин соняшника, що вирощується в Туреччині [Narin & Abdikan, 2022]. Дослідження, виконані в Китаї, засвідчили можливість використання історичної серії нормалізованого диференційного вегетаційного індексу для встановлення критичних фенологічних фаз розвитку рослин сої [Han et al., 2017]. Найбільш вивченою в цьому плані культурою є кукурудза на зерно. Є низка наукових свідчень про успішне використання даних ДЗЗ у моніторингу її росту і розвитку, що має високе науково-практичне значення для сучасних систем точного цифрового землеробства. Встановлено закономірності динамічних змін, що відбуваються у посівах культури, та їхній взаємозв'язок зі змінами у величині спектральних вегетаційних індексів [Vina et al., 2004; Diao, 2010].

Представлене нами дослідження створює передумови впровадження ефективного дистанційного фенологічного моніторингу в сучасних системах землеробства на теренах України. Подальше уточнення первинних результатів і розширення науково-методологічної бази застосування ДЗЗ у моніторингу росту й розвитку культурних рослин є одним із перспективних і актуальних завдань сучасної аграрної науки, оскільки сприятиме заощадженню матеріально-трудових ресурсів і підвищенню економіко-екологічної ефективності виробництва продукції рослинництва.

Висновки. Вперше для умов України виконано дослідження з застосування даних дистанційного зондування Землі для моніторингу фенології таких сільськогосподарських культур, як кукурудза на зерно, соя та соняшник за міжнародною шкалою вегетації BBCH. Установлено, що нормалізований диференційний вегетаційний індекс може слугувати джерелом

інформації про ріст і розвиток досліджуваних культур. Запропоновано інтервальні шкали для відстеження фенологічного розвитку досліджуваних культур за величиною супутникового вегетаційного індексу. Встановлено, що пікових величин вегетаційний індекс досягає у критичні фази росту і розвитку сільськогосподарських культур, зокрема у фазу BBCH 51-69 у соняшника, BBCH 61-69 у кукурудзи на зерно, BBCH 71-79 у сої.

Подальші дослідження уточнюватимуть інтервали величин нормалізованого диференційного вегетаційного індексу в кожній фенологічній фазі, а також розширюватимуть спектр культур і дослідження зрошуваних посівів. У подальшому необхідне розширення спектру сільськогосподарських культур і уточнення первинних результатів цього дослідження для формування національної інформаційної бази даних і автоматизованої системи дистанційного фенологічного моніторингу, що створюватиме передумови для подальшого поглиблення інформатизації аграрної галузі України та посилення її конкурентоспроможності на міжнародній арені.

Перелік літератури /References

- Diao, C. (2010). Remote sensing phenological monitoring framework to characterize corn and soybean physiological growing stages. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111960. doi: 10.1016/j.rse.2020.111960
- Han, Y., Meng, J., Xu, J. (2017). Soybean growth assessment method based on NDVI and phenological calibration. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33 (2), 177–182.
- Lykhovyd, P.V. (2021). Seasonal dynamics of normalized difference vegetation index in some winter and spring crops in the South of Ukraine. *Agrology*, 4 (4), 187–193. doi: 10.32819/021022
- Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Hes, M., Lancashire, P.D., Schnock, U., Staus, R., van den Boom, T., Weber, E., Zwerger, P. (2009). The BBCH

system to coding the phenological growth stages of plants—history and publications. *Journal für Kulturpflanzen*, 61 (2), 41–52.

Narin, O.G., Abdikan, S. (2022). Monitoring of phenological stage and yield estimation of sunflower plant using Sentinel-2 satellite images. *Geocarto International*, 37 (5), 1378–1392. doi: 10.1080/10106049.2020.1765886

Osinnii, O., Averchev, O., Lavrenko, S., Lykhovyd, P. (2022). Cost-effective and time saving method of phenological monitoring using satellite imagery in drip-irrigated rice. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 22(4), 511–515.

Reed, G.F., Lynn, F., Meade, B.D. (2002). Use of coefficient of variation in assessing variability of quantitative assays. *Clinical and Vaccine Immunology*, 9 (6), 1235–1239. doi: 10.1128/CDLI.9.6.1235-1239.2002

Rokni, K., Musa, T.A. (2019). Normalized difference vegetation change index: A

technique for detecting vegetation changes using Landsat imagery. *Catena*, 178, 59–63. doi: 10.1016/j.catena.2019.03.007

Ruml, M., Vulić, T. (2005). Importance of phenological observations and predictions in agriculture. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, 50(2), 217–225. doi: 10.2298/JAS0502217R

Steven, M.D., Clark, J.A. (2013). Applications of remote sensing in agriculture. London: Butterworths. 426 pp.

Vina, A., Gitelson, A.A., Rundquist, D.C., Keydan, G., Leavitt, B., Schepers, J. (2004). Monitoring maize (*Zea mays* L.) phenology with remote sensing. *Agronomy Journal*, 96 (4), 1139–1147. doi: 10.2134/agronj2004.1139

Yang, C.C., Prasher, S.O., Goel, P.K. (2004). Differentiation of crop and weeds by decision-tree analysis of multi-spectral data. *Transactions of the ASAE*, 47 (3), 873–879.

UDC 528.88:633

CROPS PHENOLOGICAL MONITORING USING REMOTE SENSING DATA

Lykhovyd P., Doctor of Agricultural Sciences,

e-mail: pavel.likhovid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0314-7644>

Vozhehova R., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the NAAS,

e-mail: icsanaas@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>

Hranovska L., Doctor of Economic Sciences, Professor,

Correspondent Member of the NAAS,

e-mail: g_ludmila15@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7021-3093>

Yuziuk S., Candidate of Agricultural Sciences,

e-mail: qwerty7536857496@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8761-642X>

Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS

Bidnyna I., Candidate of Agricultural Sciences,

e-mail: irinabidnina@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8351-2519>

Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS

Summary

The article is devoted to the study of the possibilities of using aerospace monitoring data for remote control and monitoring crops' growth and development.

The study aims to develop and scientifically substantiate a methodological approach to the use of re-

remote sensing data for phenological monitoring of crops, such as sunflower, soybean, and grain corn.

Methods. The methodological approach to remote crop phenological monitoring was developed based on the results of field and camera studies conducted during the growing season of 2018 on 750 fields (250 fields for each studied crop, 10 fields for each region of Ukraine). The study was conducted under non-irrigated conditions. The phenological phases were determined according to the international BBCH methodology. Remote sensing data were calculated using Sentinel-2 satellite images presented on the Agromonitoring Crop Map cartographic monitoring resource. The results were mathematically processed in Microsoft Excel 365 and using the statistical program «BioStat v.7». Phenological monitoring of crops was performed with reference to the corresponding value of the normalized difference vegetation index (NDVI).

Results. It has been established that the value of the normalized difference vegetation index can be used for remote phenological monitoring of the studied crops. According to the vegetation stages of sunflowers, the peak values of the index were recorded at the phase BBCH 51-69, for soybean the maximum was at the BBCH 71-79, and in grain corn – at the BBCH 61-69, respectively. Certain differences during the phenological development of the studied crops in different administrative-territorial and natural-climatic zones of Ukraine were found, however, the differences are not crucial. The interval scale of normalized difference vegetation index for remote assessment of phenological development of sunflowers, soybean, and grain corn is proposed.

Conclusions. Based on the results of the study, an innovative methodological approach to remote phenological monitoring of sunflower, soybean, and grain corn crops was developed and proposed. The proposed interval scale of phenological phases in accordance with the value of the normalized difference vegetation index is a convenient tool in scientific and practical activities.

Keywords: vegetation, corn, normalized difference vegetation index, sunflower, soybean.