



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК [581.5+528.8+004.6]:
551.5:633.1

© 2023

ВИКОРИСТАННЯ МЕТЕОСЕРВІСІВ, ДИСТАНЦІЙНИХ І ПОЛЬОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ РОЗВИТКУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

В.П. Ковальчук¹, О.П. Войтович², Я.О. Бутенко³,
С.І. Бурикiна⁴, В.П. Лукашук⁵, О.В. Ковальчук⁶

¹доктор технічних наук

² PhD (доктор філософії)

³⁻⁵кандидат сільськогосподарських наук

^{1-3, 5}Інститут водних проблем і меліорації НААН

вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022, Україна

⁴Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН

вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське Одеського р-ну Одеської обл., 67667, Україна

⁶Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Україна

e-mail: ¹volokovalchuk@gmail.com, ²aleksvoitovych@gmail.com, ³iarynabulba@gmail.com,

⁴burykina@ukr.net, ⁵vita_lukashuk@ukr.net, ⁶sashkov2003@gmail.com

ORCID: ¹0000-0001-7570-1264, ²0000-0002-1513-4744, ³0000-0002-1743-7175,

⁵0000-0003-0081-0962, ⁶0000-0003-4439-4446

Надійшла 05.04.2023

Мета. Обґрунтувати метод визначення фаз розвитку пшениці озимої для отримання достовірної інформації із застосуванням інформаційних технологій і дистанційного зондування Землі. **Методи.** Використано дані дистанційного моніторингу температурних показників на полі, польових спостережень і дистанційного моніторингу поля за допомогою автоматичного метеорологічного обладнання. **Результати.** Дослідження на ділянках у смт Хлібодарському Одеської обл. (46°47'96" пн. ш., 30°59'09" сх. д.) та с. Гуті Чугорській Хмельницької обл. (48°70'38" пн. ш., 27°04'08" сх. д.) підтверджують взаємне доповнення та деяку взаємозамінність інформації польового моніторингу та інформації із сервісів прогнозування погоди, необхідність створення недорогого сервісу моніторингу та аналізу погодних даних, який може давати прогнози і рекомендації щодо фаз розвитку сільськогосподарських культур. **Висновки.** Запропонований комплексний підхід до моніторингу і прогнозування температурних показників розвитку пшениці озимої дає змогу агрономам ефективно відстежувати проходження фаз розвитку сільськогосподарських культур. Використання фермерами недорогих станцій польового моніторингу

поліпшити якість отриманої інформації про температурні показники на полі. Для якісного керування поливом, планування внесення добрив, хімічного захисту рослин важливим є визначення фаз розвитку сільськогосподарських культур. У майбутньому пропонується апробувати прогноз настання фенологічних фаз за допомогою запропонованого комплексного підходу з використанням сервісу моніторингу та аналізу погодних даних.

Ключові слова: дистанційні дослідження, сервіси прогнозування погоди, температура повітря.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202305-10>

Сучасна тенденція зміни клімату в бік потепління потребує постійного удосконалення технології вирощування пшениці озимої.

За даними вітчизняних метеорологів, температура в Україні щороку зростає на 1,1 °С. Якщо раніше в Україні клімат був помірно холодним із середньою річною температурою +7,8 °С, то нині цей показник зріс до +9 °С. Відповідно збільшуються й суми активних та ефективних температур. За період 2006–2010 рр. сума активних температур в Україні збільшилася на 632 °С [1].

Науковці оцінили вплив можливих змін клімату на провідну зернову культуру України — пшеницю озиму до 2025–2030 рр. У середньому пшениця озима розвивається майже 300 днів, із них період проростання і стартовий розвиток становить 30 днів, куціння відбувається удвічі швидше, на формування стебла потрібно 48 діб, колоска — 6, цвітіння — 11, дозріває рослина за 50 днів. Зміна погодних умов у бік потепління буде сприятливою для вирощування пшениці озимої. Ефективніше слід використовувати істотно потепління осінньої вегетації, що дасть змогу на 40–50 діб змістити строки сівби в бік пізніших. Період зимового спокою відбуватиметься за підвищеної температури на 4–8 °С, скоротиться період зимівлі рослин [2]. Отже, сучасна тенденція зміни клімату в бік потепління потребує постійного вдосконалення технології вирощування пшениці озимої.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературних джерелах найчастіше розглядають якийсь окремий аспект порушеної в статті проблеми. Основою аналізу розвитку пшениці озимої є польові дослідження (тривалість проходження фаз росту і розвитку залежно від елементів технології вирощування, вплив погодних

умов на проходження і тривалість фенологічних фаз тощо) [3–6]. Насіння пшениці проростає за температури ґрунту 4–6 °С. Інтенсивний ріст відбувається за температури 20–25 °С. У таких умовах перші проростки з'являються через тиждень після сівби. Проте оптимальною температурою для проростання є 12–17 °С, фаза сходів культури триває 14–21 день.

Порівняно з польовими обстеженнями технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) пропонують можливість швидкого отримання інформації щодо просторового розвитку сільськогосподарських культур упродовж безперервного часового ряду і використовуються для ідентифікації та моніторингу їх стану. Отримати інформацію про пшеницю озиму за допомогою ДЗЗ можна 2-ма методами: машинного навчання та за індексами вегетації часових рядів [7].

Методи машинного навчання вигідні з урахуванням їх високої точності і широкої застосовності. Однак для отримання результатів вимоги до вхідної інформації часто є надто складними. Крім того, вони значною мірою залежать від великих розмірів вибірки. Збір зразків потребує значних трудових і фінансових ресурсів за відносно невисокої вартості виконання. Тому машинне навчання застосовують для досліджень за наявності якісних даних [8].

Часові ряди стосуються тенденції зміни вегетаційного індексу впродовж вегетаційного періоду. Теоретично певна статична ознака підтримує відносно стабільний тренд часового ряду. Ґрунтуючись на цьому принципі, такі ряди успішно використовують для ідентифікації пшениці озимої завдяки її істотно відмінним фенологічним особливостям порівняно з іншими культурами [9]. Це

показує переваги індексів вегетації часових рядів, включаючи вимоги до невеликого розміру вибірки та високу точність ідентифікації.

Сервіс «метеофарм» [1] пропонує зосередитися на активній температурі. Інтернет-метеостанції (МС) [10, 11] пропонують аналізувати свої виміри температури, але МС дорогі.

Мета досліджень — обґрунтувати метод визначення фаз розвитку пшениці озимої комплексним підходом для отримання достовірної інформації із застосуванням інформаційних технологій і дистанційного зондування Землі.

Наше дослідження зосереджене на вивченні впливу температури на розвиток пшениці озимої [12, 13]. Варто зазначити, що ефективність технології вирощування пшениці на 50% залежить від оптимізації її розвитку відповідно до кліматичних умов. Стійкість рослини до критичних періодів залежить від співвідношення темпу росту до факторів навколишнього середовища, які лімітують урожайність пшениці з 1 га, проте застосовуючи ефективні елементи агротехнології, можна керувати її розвитком.

Матеріали і методи досліджень. Для обґрунтування температурних показників чергування фаз розвитку пшениці озимої використовували дані польових спостережень і дистанційного моніторингу температурних показників на полі. Дистанційний моніторинг складається з обробки супутникових знімків і накопичення даних про

метеумови на полі за допомогою автоматичного метеобладнання з передачею даних через мережу Інтернет.

Метеорологічний прогноз отримували за API в режимі «online» із погодного сервісу [15–17] та моделі чисельного прогнозування WRF [18]. Прогноз на 10 днів (який реалізують сервіси) дав змогу визначити настання фаз розвитку, що допомогло в плануванні агротехнічних і меліоративних заходів [14]. Дані з погодного сервісу зберігаються в електронній базі даних, що дає можливість отримувати історію метеопказників за період моніторингу для подальшої їх обробки. Для цього застосовували програмне забезпечення Microsoft Excel.

Для моніторингу мікроклімату на полі використовували станції власної розробки авторів (рис. 1) на основі мікропроцесорів ARDUINO із застосуванням сенсорів температури і відносної вологості повітря, автоматичних дощомірів і датчиків вимірювання температури ґрунту [19]. Станції моніторингу розміщувалися на дослідних ділянках смт Хлібодарського Одеського р-ну Одеської обл. (46°47'96" пн. ш., 30°59'09" сх. д.), та с. Гути Чугорської Кам'янець-Подільського р-ну Хмельницької обл. (48°70'38" пн. ш., 27°04'08" сх. д.).

Фотофіксацію фаз розвитку пшениці озимої здійснювали кожні 7–10 днів (має бути диференційованою) і використовували як верифікацію фаз розвитку на полі в певні часові точки. Фотофіксацію рослин у різні фази



Рис 1. Розміщення на полі дослідних ділянок і станцій моніторингу мікроклімату, використовуваних авторами

розвитку проводили в 3-х ракурсах: широкий план; людський зріст; загальний фон поля.

Для моніторингу розвитку пшениці озимої використовували нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI), який є індикатором фотосинтетичної активної біомаси. NDVI — простий показник кількості фотосинтетично активної біомаси. Цей індекс обчислюється за поглинанням і відбиванням рослинами променів червоної і ближньої інфрачервоної зон спектра.

Дані NDVI інтерпретуються з урахуванням фази вегетації пшениці озимої на полі. Упродовж вегетації показник збільшується, досягає піку 0,75–0,80 (у зернових це колосіння) і починає зменшуватися (рис. 2). Зниження індексу наприкінці вегетації відображає процес дозрівання пшениці озимої [20].

Результати досліджень. Моніторинг температурних показників розвитку пшениці озимої проводили протягом 2020–2022 рр. на дослідній ділянці Одеської державної сільськогосподарської станції (ОДСГДС) Інституту водних проблем і меліорації (ІВПіМ) НААН (нині підпорядкована Інституту кліматично орієнтованого

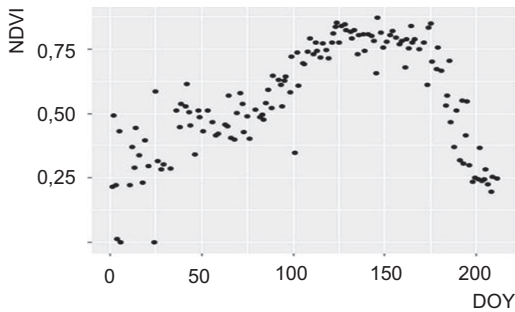


Рис. 2. Середнє значення NDVI для 1485 полів пшениці озимої, досліджуваних з 2016 по 2018 р. DOY: день року [20]

сільського господарства НААН). Ґрунти ділянки — чорноземи південні важкосуглинкові на лесовидних відкладеннях.

Температурні показники осінньо-зимового періоду 2020–2021 рр. отримано за даними метеомайданчика ОДСГДС ІВПіМ НААН (табл. 1). При порівнянні з кліматичною нормою для МС Одеса, за даними Кліматичного Кадастру України [21], жовтень і грудень були теплішими за норму, а листопад і березень — холоднішими (див. табл. 1).

Навесні 2021 р. на дослідній ділянці було встановлено метеорологічне обладнання власної розробки авторів (див. рис. 1) і розпочався автоматичний моніторинг температури за допомогою сервісів прогнозування погоди (рис. 3).

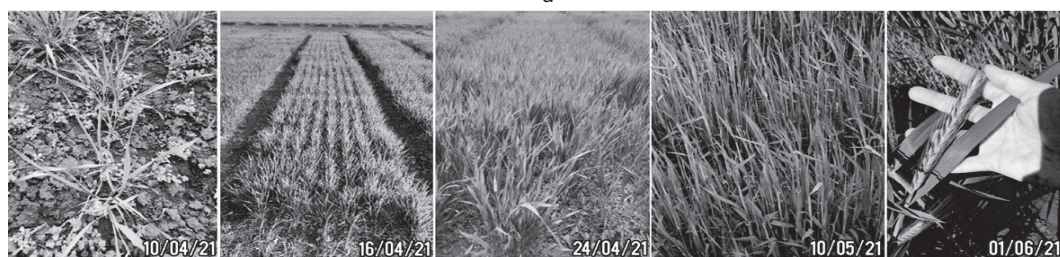
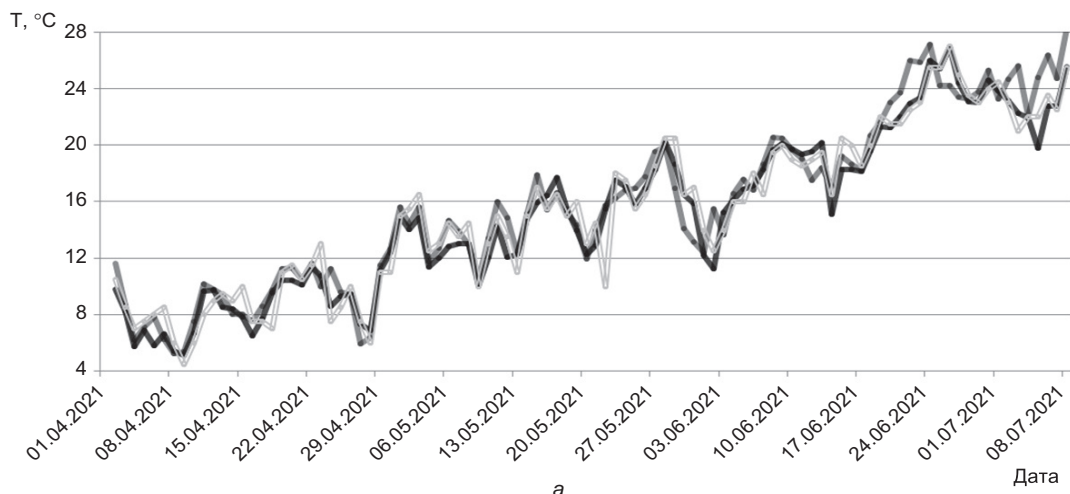
Динаміку середньодобової температури (див. рис. 3а), отриману зі станції польового моніторингу, порівнювали з даними інших джерел — сервісу прогнозування погоди та метеомайданчика ОДСГДС ІВПіМ НААН. Середньоквадратичні відхилення показали близькість даних вимірювання температури повітря всіма 3-ма джерелами даних: RMSE (метеосайт) = 1,38 та RMSE (метеомайданчик) = 1,63. Порівняння отриманих даних і побудову графіків здійснено за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel.

Сівбу пшениці озимої сорту Кантата провели 25.09.2020 р. Фази її розвитку за макростадіями ВВСН на дослідній ділянці наведено в табл. 2, верифікацію — на рис. 3б.

Восени 2021 р. сівбу пшениці озимої сорту Сториця (попередник — горох) на дослідних ділянках ОДСГДС ІВПіМ НААН було проведено 07.10.2021 (див. табл. 2). Сходи отримували з 01.11.2021 і майже до I декади грудня (табл. 2), оскільки кількість опадів з вересня по листопад була недостатньою, тому не було умов для проростання насіння. І лише після опадів у I декаді грудня отримали повні

1. Середньодекадна температура осінньо-зимових періодів дослідження в аспекті кліматичної норми для Одеської області

Роки	Температура повітря, °C																	
	Жовтень		Листопад		Грудень		Січень		Лютий		Березень							
2020-2021	17,6	13,5	11,7	7,5	4,1	1,4	0,7	2,4	3,6	2,8	-7,4	1,4	0,1	-7,4	1,4	0,8	2,2	1,4
2021-2022	8,7	7,9	8,5	7,7	4,3	5,5	4,8	3,1	-4,5	2,5	-3,1	-3,8	0,3	2,8	3,1	0,1	-1,9	3,6
Норма	11,1		5,9		1,4				-1,7		-1,0		2,6					

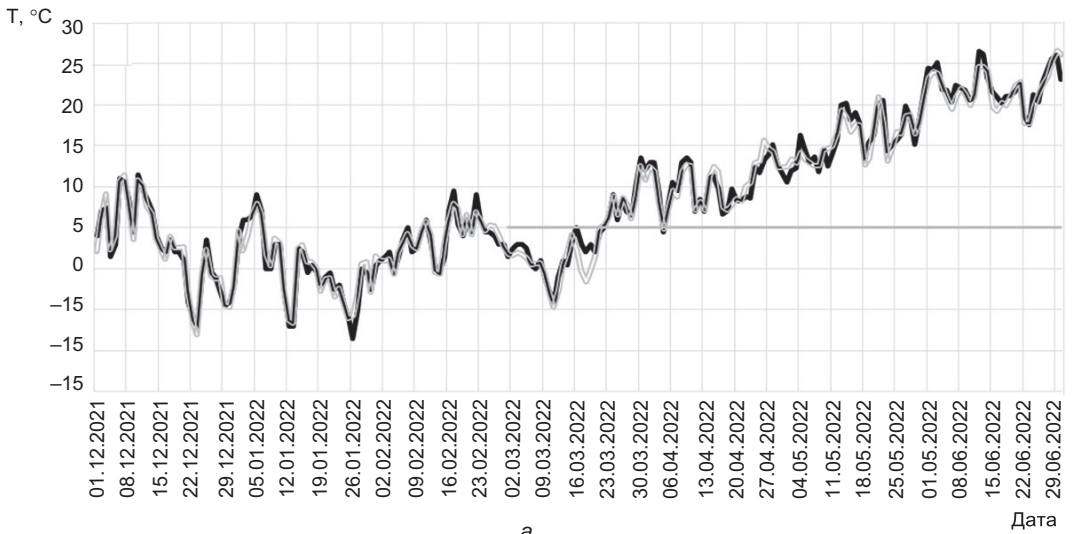


б

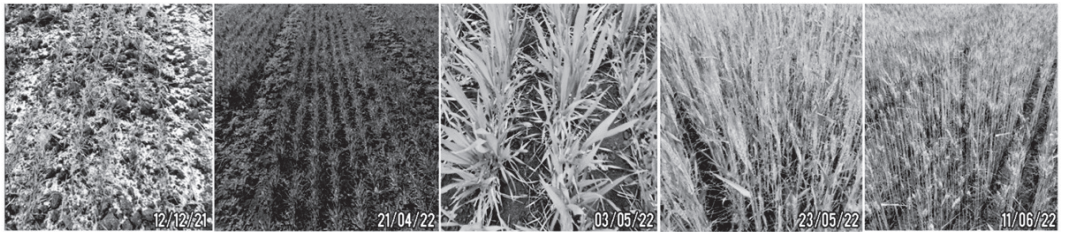
Рис. 3. Динаміка середньодобової температури у 2021 р. на дослідній ділянці пшениці озимої (а) з фотофіксацією фаз розвитку культури (б), отримана з різних джерел (ОДСГДС ІВПІМ НААН): — — метеосайт, середня температура повітря; — — метеостанція, середня температура повітря ; — — метеомайданчик ОДСГДС

2. Фази розвитку пшениці озимої за макростадіями ВВСН на дослідній ділянці ОДСГДС ІВПІМ НААН упродовж 2020 – 2022 рр.

Сорт Кантата			Сорт Сториця		
Дата	Макростадія ВВСН	Примітка	Дата	Макростадія ВВСН	Примітка
25.09.2020	0	Сівба	07.10.2021	0	Сівба
01.10.2020	0	Сходи	01.11.2021	0	Сходи
05.10.2020	1	1 розгорнутий лист	10.12.2021	2	Припинення вегетації
28.10.2020	2	Кущіння	22.03.2022	2	Відновлення вегетації
22.11.2020	2	Припинення вегетації	04.04.2022	2	Кущіння
31.03.2021	2	Відновлення вегетації	01.05.2022	3	Вихід у трубку
22.04.2021	3	Вихід у трубку	14.05.2022	5	Колосіння
10.05.2021	5	Початок колосіння	23.05.2022	6	Завершення цвітіння
20.05.2021	5	Кінець колосіння	01.06.2022	7	Молочна стиглість
26.05.2021	6	Цвітіння	11.06.2022	8	Настання МВС
20.06.2021	8	Настання МВС	28.06.2022	9	Повна стиглість
07.07.2021	9	Повна стиглість			



а



б

Рис. 4. Динаміка середньодобової температури у 2021 – 2022 рр. на дослідній ділянці пшениці озимої (а), отримана за даними сервісу прогнозування погоди і метеомайданчика ОДСГДС ІВПіМ НААН з фотофіксацією фаз розвитку культури (б): — — метеосайт, середня температура; - - - метеомайданчик ОДСГДС; — — температура відновлення вегетації

сходи озимих культур (рис. 4). Фази розвитку пшениці озимої за макростадіями ВВСН на дослідній ділянці наведено в табл. 2, верифікацію — на рис. 4б.

Оскільки у весняно-літній період 2021 р. зафіксовано близькість даних вимірювання температури повітря всіма 3-ма згаданими вище джерелами даних, з осені 2021 р. температуру фіксували за даними сервісу прогнозування погоди і метеомайданчика ОДСГДС ІВПіМ НААН (див. рис. 4). Обчислене середньоквадратичне відхилення дало змогу підтвердити висновок про близькість даних вимірювання температури повітря обома джерелами даних: $RMSE = 1,11$.

Температурні показники осінньо-зимового періоду 2021–2022 рр. отримано за даними метеомайданчика ОДСГДС ІВПіМ НААН (див. табл. 1) і сервісу прогнозування

погоди. Виявилося, що грудень і лютий були теплішими, а жовтень, лютий і березень — холоднішими за кліматичну норму за даними Кліматичного Кадастру України [21] для МС Одеса (див. табл. 1).

Також проведено моніторинг у виробничому досліді температурних показників розвитку пшениці озимої в с. Гуті Чугорській Кам'янець-Подільського р-ну Хмельницької обл. Сівбу пшениці проведено 03.10.2021, збирання — 18.07.2022. Восени 2021 р. неподалік (0,5 км) дослідно-виробничої ділянки на полі було встановлено станцію моніторингу мікроклімату власної розробки (див. рис. 1). Моніторинг температури повітря проведено за даними сервісу прогнозування погоди (збір даних розпочато в березні 2022 р.) і станції моніторингу мікроклімату на полі (збір даних розпочато у вересні 2021 р.).

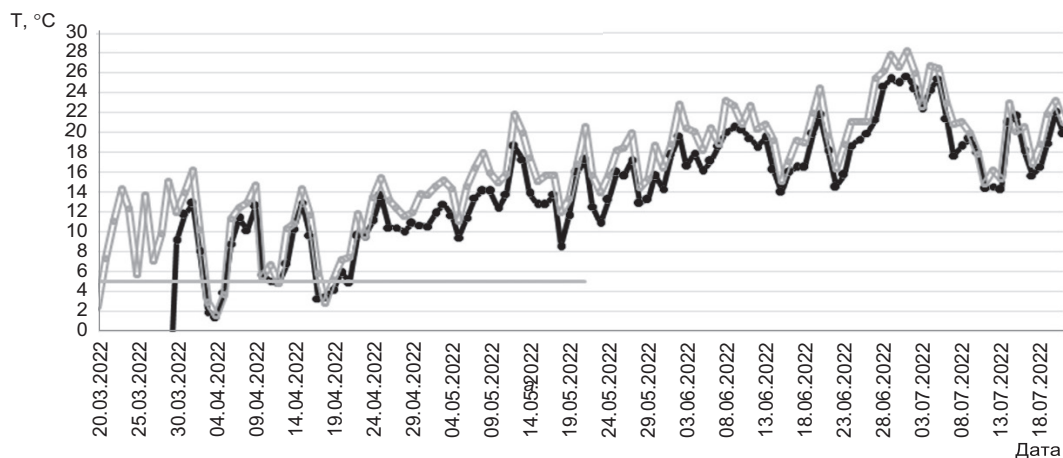


Рис. 5. Динаміка середньодобової температури в 2021 – 2022 рр. на дослідній ділянці пшениці озимої, отримана за даними сервісу прогнозування погоди і станції моніторингу мікроклімату на полі: — метеосайт, середня температура повітря; — метеостанція, середня температура повітря ; - - - 5 °C

Температурні дані, одержані із зазначених джерел, наведено на рис. 5. Близькість даних вимірювання температури повітря з різних джерел підтверджено середньоквадратичним відхиленням: $RMSE = 1,97$.

Температурні показники осінньо-зимового періоду 2021 – 2022 рр. отримано за даними станції моніторингу мікроклімату власної розробки (табл. 3). При порівнянні їх із кліматичною нормою для МС Нова Ушиця, наведеною в Кліматичному Кадастрі України [21], встановлено, що листопад і лютий були теплішими за норму, аномально теплою видалася й III декада березня 2022 р.

Фотофіксацію фаз розвитку рослин пшениці здійснювали лише навесні 2022 р. Тому дані моніторингу з поля доповнено значеннями дистанційного моніторингу посівів (NDVI).

Найбільш важливими для формування врожаю фазами є відновлення вегетації — колосіння, тому збільшення в цей період

суми ефективних температур з 774 °C до 908 °C призводить до невиповненості колосу та щуплості зерна, що знижує врожайність з 5,6 до 3,1 т/га [22]. Нами порівняно суми активних ($T_{акт} > 10\text{ °C}$) та ефективних температур ($T_{еф} > 5\text{ °C}$) за весняний період вегетації для дослідних ділянок (рис. 6) [12, 13]. Аналіз показав, що біокліматичні умови вирощування пшениці озимої на Хмельниччині були сприятливішими, ніж в Одеській обл.

За сумою ефективних температур від відновлення вегетації до колосіння на дослідних ділянках показники за даними різних метеопостів були близькими до оптимальних (на полях Хмельниччини $T_{метеосайт} = 710\text{ °C}$, $T_{метеостанція} = 824\text{ °C}$, на Одещині $T_{метеомайданчик} = 748\text{ °C}$, $T_{метеосайт} = 733\text{ °C}$) [22].

Для оцінки загального стану розвитку використовували нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI). За статистичними даними рівень високого розвитку за вегетаційним індексом NDVI для пшениці

3. Середньодекадна температура осінньо-зимового періоду 2021 – 2022 рр. в аспекті кліматичної норми для Хмельницької області

Роки	Температура повітря																	
	Жовтень		Листопад		Грудень		Січень		Лютий		Березень							
2021-2022	9,1	8,2	9,1	8,2	5,7	4,4	0,8	1,5	-5,7	2,0	-2,3	-2,3	1,3	2,6	4,7	0,8	1,0	8,6
Норма	8,1		2,4		-2,3		-1,7		-1,0		2,6							

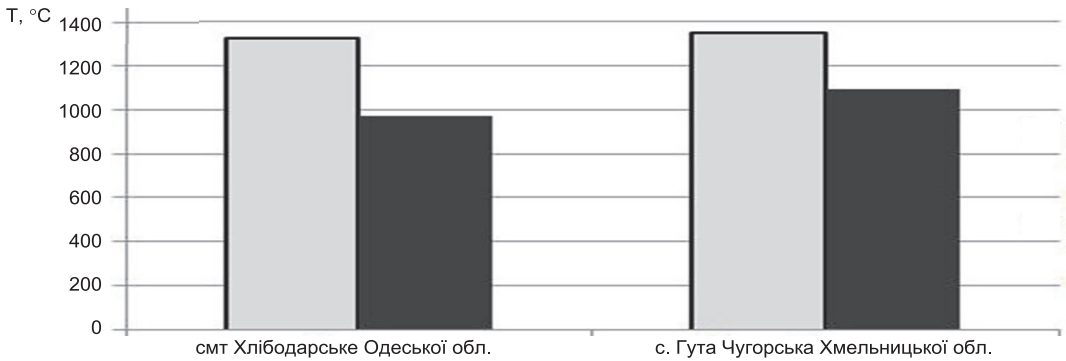


Рис. 6. Активна та ефективна температури на дослідних ділянках упродовж весняного періоду вегетації пшениці озимої у 2022 р.: ■ — активна температура ($T_{\text{акт}} > 10^\circ\text{C}$), ■ — ефективна температура ($T_{\text{еф}} > 5^\circ\text{C}$)

озимої має становити 0,80–0,85 й утримуватися впродовж 4-х тижнів. На досліджуваних полях він був досить низьким для активної фази вегетації — 0,60–0,65. За даними ДЗЗ, рівень розвитку пшениці озимої на полі в Хмельницькій обл. був середнім, на полі Одещини — низьким (рис. 7). Низький розвиток біомаси протягом сезону зумовив низький рівень урожайності, яка становила 4,3 та 3,2 т/га відповідно. Тобто зниження врожайності на полях спричинено впливом іншого чинника — вологості ґрунту та/або рівнем живлення.

Варто зауважити, що дані про опади й відносну вологість повітря з різних джерел накопичували в базі даних, але для аналізу водного режиму їх не використовували, оскільки вплив водного фактора

на розвиток пшениці озимої потребує додаткового поглибленого вивчення.

Отже, для ілюстрації запропонованого комплексного підходу до проблеми контролю розвитку пшениці нами наведено дані кількох дослідів. Такий підхід дає змогу виявити недоліки і переваги кожного з інструментів: даних погодних сервісів, дистанційного і польового моніторингу.

Інтернет-метеостанції дають найточніші дані, але не дають прогнозу, тобто потребують доповнення даними прогнозу із сервісів прогнозування погоди. Ці дані можуть бути оберненим зв'язком при технологічному управлінні. Сервіси прогнозування погоди дають неперервний у часі масив даних, а на основі 10-добового прогнозу з великою ймовірністю можна прогнозувати настання

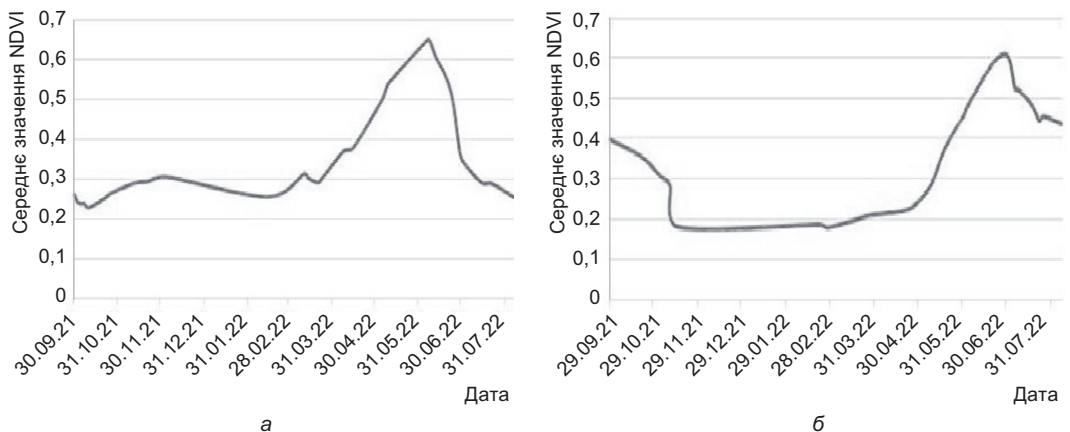


Рис. 7. Динаміка індексу NDVI на дослідних полях Хмельницької (а) та Одеської (б) областей у період вегетації 2021 – 2022 рр.

півної фази розвитку сільськогосподарської культури, скажімо, пшениці озимої. Дані із сервісів можуть незначно відрізнятись від мікроклімату поля. За обчисленими і наведеними вище середньоквадратичними відхиленнями можна зробити висновок про потенційну взаємозамінюваність джерел

отримання даних про середньодобову температуру повітря.

За відсутності можливості фотофіксації фаз розвитку слід покладатися на дані польового моніторингу і сервісів прогнозування погоди, підтверджені супутниковими даними.

Висновки

Запропонований комплексний підхід до моніторингу і прогнозування температурних показників розвитку пшениці озимої дає змогу агрономам ефективно відслідковувати проходження фаз розвитку сільськогосподарських культур. Для якісного управління поливом, планування внесення добрив, хімічного захисту рослин важливим є визначення фаз розвитку сільськогосподарських культур. Актуальним напрямом наукових досліджень є доповнення наземних досліджень дистанційним зондуванням Землі.

Результати досліджень підтверджують взаємодоповнення та деяку взаємозамінюваність інформації польового моніторингу

та інформації із сервісів прогнозування погоди (RMSE 1,11–1,97). Тому з'явилася потреба в створенні недорогого сервісу моніторингу та аналізу погодних даних, який може давати прогнози і рекомендації щодо фаз розвитку сільськогосподарських культур.

Використання фермерами недорогих станцій польового моніторингу поліпшить якість отриманої інформації про температурні показники на полі. Тому наступним кроком досліджень стане практична реалізація прогнозування фаз розвитку сільськогосподарських культур на основі використання сервісів прогнозування погоди та дистанційних досліджень.

Kovalchuk V.¹, Voitovych O.², Butenko Ya.³, Burykina S.⁴, Lukashuk V.⁵, Kovalchuk O.⁶

^{1-3,5}Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS, 37 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine; ⁴Odesa Experimental Agricultural Station of NAAS, 24 Mayatska Doroha Str., vil Khlibodarske, Odesa district, Odesa oblast, 67667, Ukraine; ⁶Taras Shevchenko National University of Kyiv, 60 Volodymyrska Str., Kyiv, 01033Ukraine; e-mail: ¹volokovalchuk@gmail.com, ²aleksvoitovych@gmail.com, ³iarynabulba@gmail.com, ⁴burykina@ukr.net, ⁵vita_lukashuk@ukr.net, ⁶sashkov2003@gmail.com; ORCID: ¹0000-0001-7570-1264, ²0000-0002-1513-4744, ³0000-0002-1743-7175, ⁵0000-0003-0081-0962; ⁶0000-0003-4439-4446

Use of weather services, remote and field methods for justification of temperature indicators of winter wheat development

Goal. To justify the method of determining the phases of the development of winter wheat for obtaining reliable information using information technologies and remote sensing of the Earth. **Methods.** The data of remote monitoring of temperature indicators on the field and field observations and remote monitoring of the field using automatic meteorological equipment were used. **Results.** Research conducted on plots in vil. Khlybodarske (Odesa

oblast) (46°47'96" N, 30°59'09" E) and vil. Huta Chuhorska (Khmelnitskyi oblast) (48°70'38" N, 27°04'08" E) confirmed mutual complementarity and some interchangeability of field monitoring information and information from weather forecasting services, the need to create an inexpensive service for monitoring and analyzing weather data, which could give forecasts and recommendations regarding the phases of development of crops. **Conclusions.** The proposed comprehensive approach to monitoring and forecasting the temperature indicators of winter wheat development enables agronomists to effectively monitor the development phases of crops. The use of inexpensive field monitoring stations by farmers will improve the quality of the received information about temperature indicators in the field. Determination of the phases of agricultural plant development is important for high-quality irrigation management, fertilizer application planning, and chemical plant protection. In the future, it is proposed to test the forecast of the onset of phenological phases with the help of the proposed integrated approach using the service of monitoring and analysis of weather data.

Key words: remote research, weather forecasting services, air temperature.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovissnyk202305-10>

Бібліографія

1. Солонар М. Від сходу до заходу: як відрізняється сума активних температур по регіонах і на що це впливає: URL: <http://www.Kurkul.com> (дата звернення: 08.07.2020).
2. Польовий А. Зміни клімату на користь? *Сільські вісті*. 2010. № 112. С. 2.
3. Третьякова С.О. Оптимізація елементів технології вирощування пшениці озимої у Правобережному Лісостепу України: монографія; за ред. С.П. Полторецького. Умань: Видав. поліграф. центр «Візаві», 2019. 152 с.
4. Осьмачко О.М., Власенко В.А., Бакуменко О.М., Башлай А.Г. Програмування врожаю пшениці м'якої озимої залежно від метеорологічних елементів. *The 3rd International scientific and practical conference — Topical issues of modern science, society and education*. Kharkiv, 2021. P. 34–41.
5. Антал Т.В., Шевчук В. Вплив погодних умов на проходження та тривалість фенологічних фаз. Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві та транспорті: інтернет-конф. 19–30 лютого 2012 г. URL: <https://sworld.education/konfer27/807.pdf>
6. Уліч О.Л., Ткачик С.О., Хахула В.С., Терещенко Ю.Ф. Оцінка впливу часу відновлення весняної вегетації на ріст і розвиток рослин та продуктивність сортів пшениці м'якої озимої. *Plant varieties studying and protection*. 2014. P. 51–57. doi: 10.21498/2518-1017.4(25).2014.55894
7. Srivastava A.K., Safaei N., Khaki S. et al. Comparison of Machine Learning Methods for Predicting Winter Wheat Yield in Germany. 2021. ArXiv, abs/2105.01282.
8. Gozdowski D., Stępień M., Panek E. et al. Comparison of winter wheat NDVI data derived from Landsat 8 and active optical sensor at field scale. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2020. V. 20. 100409. doi: 10.1016/j.rsase.2020.100409
9. Huang F., Xia X., Huang Y. Lv S. et al. Comparison of Winter Wheat Extraction Methods Based on Different Time Series of Vegetation Indices in the Northeastern Margin of the Qinghai — Tibet Plateau: A Case Study of Minhe, China. *Remote Sens*. 2022, 14, 343. doi: 10.3390/rs14020343
10. Pessl Instruments GmbH. URL: <http://metos.at/fieldclimate/>. Accessed 11 Sep. 2022.
11. Davis Instruments. URL: <https://www.davisinstruments.com/>. Accessed 10 Sep. 2022.
12. Ткаченко Т.Г. Агрометеорологія: навч. посіб. Харків: ХНАУ, 2015. 268 с.
13. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Вольвач О.В. Основи агрометеорології: підручник. Одеса: Видво ТЕС, 2012. 252 с.
14. Kovalchuk V., Demchuk O., Demchuk D., Voitovich O. Data Mining for a Model of Irrigation Control Using Weather Web-Services. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. ICCSEEA. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. V. 754. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-91008-6_14
15. AccuWeatherHomepage, URL: <https://www.accuweather.com/en/ua/ukraine-weather>, last accessed 2021/11/06.
16. Sinoptik UA Homepage, URL: <https://ua.sinoptik.ua/>, last accessed 2021/11/06.
17. Weather API — Open Weather Map: URL: <https://openweathermap.org/api>, last accessed 2022/09/10.
18. WRF (The Weather Research and Forecasting Model), URL: <https://www.mmm.uc-ar.edu/weather-research-and-forecasting-model>, last accessed 2020/10/10.
19. Kovalchuk V., Voitovich O., Demchuk D., Demchuk O. Development of Low-Cost Internet-of-Things (IoT) Networks for Field Air and Soil Monitoring Within the Irrigation Control System. 2021. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education III*. ICCSEEA 2020. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. V. 1247. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-55506-1_8
20. Vannoppen A., Gobin A. Estimating Farm Wheat Yields from NDVI and Meteorological Data. *Agronomy*, 11, 946. 2021. doi: 10.3390/agronomy11050946
21. Кліматичний Кадастр України (електронна версія). Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ. Центральна Геофізична Обсерваторія. Київ, 2006.
22. Демиденко О.В., Блащук М.І., Шаповал І.С. Осима пшениця: параметри формування прибутку. *Електр. вид. журн. «Агробізнес сьогодні»*, 2019. 7 жовт. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/15149-ozyma-pshenytsia-parametry-formuvannia-prybutku.html> (дата звернення: 01.11.2022).