

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ І КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ

---

В.М. ПРОСУНКО

Інститут гідротехніки і меліорації УААН

Н.М. КОСМІК

Український гідрометеорологічний центр

*Викладено методику довготермінового прогнозування (із завчасністю 6–12 міс.) основних показників гідротермічного режиму – середньомісячної температури повітря і кількості опадів за місяць – у пунктах розташування метеорологічних станцій, що дасть змогу розраховувати деталізований по території України прогноз тепло-та вологозабезпечення.*

**Постановка питання.** Формування ринкових взаємовідносин у сільському виробництві потребує чіткого й оперативного орієнтування в новинах технологічної, маркетингової, науково-технічної інформації та передового досвіду, адже за сучасних темпів розвитку світової науки та інформаційних технологій інформація поряд із технічним оснащенням господарств є одним із засобів виробництва сільськогосподарської продукції.

Багаторічний досвід землеробства і наукові дослідження, спрямовані на вивчення впливу агрометеорологічних чинників на продуктивність польових культур, свідчать про те, що темпи розвитку рослин, формування елементів їхньої продуктивності і загалом кінцевий результат – урожай визначаються ресурсами світла (сонячної радіації), тепла, вологи та

© В.М. Просунко, Н.М. Космік, 2009

Меліорація і водне господарство. 2009. Вип. 97

поживних речовин, які характеризують родючість ґрунту. Поєднання кількісних показників цих чинників з елементами продуктивності польових культур дає змогу здійснити оцінку гідротермічного режиму вегетаційного періоду, тобто виявити ступінь сприятливості умов, що склалися на певному етапі розвитку та очікуються впродовж вегетації.

Ретроспективний аналіз багаторічних спостережень за температурою повітря і кількістю опадів на мережі метеорологічних станцій Державного комітету гідрометеорологічної служби України, проведений у 1998–2005 рр. у відділі агро-ресурсів ІГіМ, був підставою для опрацювання методичних рекомендацій [1], які успішно витримали авторські та виробничі випробування і з 2006 р. впроваджені в практику [2].

Математична методологія статистичної обробки багаторічних спостережень за температурою повітря і опадами допомагає визначати роки-аналоги, близькі за тепло- та вологозабезпеченням вегетаційного періоду наступного року. Це дає змогу проводити детальний аналіз агрометеорологічних умов, за яких формувалась продуктивність польових культур у ретроспективі, з метою визначення і застосування найбільш ефективних технологій вирощування польових культур, диференційованих стосовно до очікуваних погодних умов за довготерміновим прогнозом [3, 4].

Довготермінове прогнозування основних показників агрометеорологічних умов допомагає завчасно приготуватися до їхніх змін, врахувати позитивні та негативні наслідки і за можливістю втрутитися у виробничий процес з метою послаблення або усунення пошкоджень і втрат у рослинництві. З іншого боку, врахування сприятливих умов, що очікуються, сприятиме раціональному використанню агрометеорологічних ресурсів поточного року для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур.

В останні роки в Україні поширилось утворення фермерських господарств та інших сільськогосподарських об'єднань рослинництва, для яких необхідна агрометеорологічна інфор-

мація, що характеризує умови вирощування рослин на полях місцевого виробництва. У зв'язку з цим набула актуальності проблема прогнозування основних показників гідротермічного режиму в окремих пунктах.

У зв'язку з наведеним **метою дослідження** було опрацьовання методології довготермінового прогнозування агрометеорологічних чинників, які впливають на продуктивність польових культур і загалом кінцевий результат – урожай рослинної маси, зерна та корнеплодів на окремих площах посівів.

Для вирішення цього питання в масштабі держави у відділі агроресурсів проведені дослідження зв'язку між середніми багаторічними значеннями середньомісячної температури і кількості опадів в областях та на окремих пунктах (метеостанціях). Використовували дані про середні багаторічні значення цих показників, тобто їхні кліматичні норми.

Відповідно теоретичним основам кліматологічної обробки метеорологічних елементів [5] середнє багаторічне значення середньомісячної температури і кількості опадів за місяць в окремій області визначається як середнє арифметичне із суми елементів, за якими проводяться спостереження на метеостанціях. Отже, за наявності в області п'яти метеостанцій середня по області середньомісячна температура  $t_{об}$  визначається за формулою:

$$t_{об} = \frac{t_{1mc} + t_{2mc} + t_{3mc} + t_{4mc} + t_{5mc}}{5}, \quad (1)$$

де  $t_{1mc} - t_{5mc}$  – середньомісячні значення температури на метеостанціях.

Середня сума опадів за місяць в області  $R_{об}$ , на території якої розташовано п'ять метеостанцій, становить:

$$R_{об} = \frac{R_{1mc} + R_{2mc} + R_{3mc} + R_{4mc} + R_{5mc}}{5}, \quad (2)$$

де  $R_{1mc} - R_{5mc}$  – кількість опадів на окремих метеостанціях.

Середнє багаторічне значення середньомісячної температури  $t_{\text{Noб}}$  та опадів  $R_{\text{Noб}}$  (їхні кліматичні норми) по області визначали аналогічно за формулами (1) і (2), де середньомісячна температура і кількість опадів за місяць на метеостанціях мають середні багаторічні значення, тобто  $t_{\text{Nmc}}$  і  $R_{\text{Nmc}}$ .

Різниця між кліматичною нормою середньомісячної температури в окремому пункті, де розташована метеостанція  $t_{\text{Nmc}}$ , і певної області  $t_{\text{Noб}}$ , тобто  $t_{\text{Nmc}} - t_{\text{Noб}} = \Delta t$ , характеризує постійний зв'язок між показниками теплового режиму на окремому пункті (метеостанції) і всієї території області. Отже, є постійна кліматична поправка, яка дає змогу розрахувати прогноз середньомісячної температури на метеостанції, використовуючи інформацію про очікувані значення середньої по області середньомісячної температури за алгоритмом:

$$t_{\text{Пmc}} = t_{\text{Поб}} + [t_{\text{Nmc}} - t_{\text{Noб}}], \quad (3)$$

де  $t_{\text{Пmc}}$  – прогноз середньомісячної температури на метеостанції;  $t_{\text{Поб}}$  – прогноз середньомісячної температури середньої по області.

Зв'язок між кількістю опадів на метеостанціях  $R_{\text{mc}}$  і їхнім середнім значенням по території області  $R_{\text{об}}$  за методикою кліматичної обробки метеорологічних спостережень [5] прийнято визначати у відсотках шляхом розрахунку співвідношення:

$$\Delta R_{\text{Nmc}} = \left( \frac{R_{\text{Nmc}}}{R_{\text{Noб}}} \right) 100, \quad (4)$$

де  $R_{\text{Nmc}}$  – середня багаторічна кількість опадів на метеостанції;  $R_{\text{Noб}}$  – середня багаторічна кількість опадів по території області.

Використовуючи прогностичну інформацію про очікувані середньообласні значення опадів у кожній області, можемо розрахувати прогноз кількості опадів на окремій метеостанції  $R_{\text{Пmc}}$  за алгоритмом:

$$R_{\text{Пmc}} = R_{\text{Поб}} \left( \frac{R_{\text{Nmc}}}{R_{\text{Noб}}} \right) 100, \quad (5)$$

де  $R_{\text{Пмс}}$  — прогноз опадів на метеостанції;  $R_{\text{Поб}}$  — прогноз середньої кількості опадів по території області;  $R_{\text{Нмс}}$  — середня багаторічна кількість опадів на метеостанції;  $R_{\text{Ноб}}$  — середня багаторічна кількість опадів по території області.

Для переходу від відносних до абсолютних значень праву частину рівняння ділимо на 100, в результаті чого алгоритм розрахунку набуває наступного вигляду:

$$R_{\text{Пмс}} = R_{\text{Поб}} \left( \frac{R_{\text{Нмс}}}{R_{\text{Ноб}}} \right). \quad (6)$$

Алгоритми (3) і (6) дають змогу за наведеною методикою розраховувати довготерміновий прогноз середньомісячної температури і кількості опадів на пунктах розташування метеостанцій.

Підставою для розробки методики довготермінового прогнозування середньомісячної температури і кількості опадів за місяць в окремих пунктах були:

а) систематичні спостереження за цими показниками за історичний період 1881–2008 рр. на мережі метеорологічних станцій, які узагальнюються в Українському гідрометеорологічному центрі;

б) методи математичної статистики, спрямовані на аналіз динамічних (варіаційних) рядів випадкових величин [6];

в) програма і алгоритми реалізації методів математичної статистики за програмою «Мезозавр» — побудова одномірних моделей;

г) програма розрахунків метеорологічних показників у системі Excel.

**Методика.** Для прогнозування середньомісячної температури і кількості опадів за місяць на окремих пунктах здійснюються такі розрахунки.

*Етап 1.* Прогнозування середніх по області середньомісячної температури і опадів ( $T_{\text{п}}$  і  $R_{\text{п}}$ ) за багаторічними спостереженнями на метеостанціях. Як алгоритм, використовується

статистичний метод авторегресії міжрічного коливання показника, реалізований у програмі «Мезозавр» [6].

Загальний вид лінійного рівняння авторегресії:

$$Y_{\tau} = a_1 Y_{\tau-1} + a_2 Y_{\tau-2} + \dots + a_k Y_{\tau-k} + E_{\tau}, \quad (7)$$

де  $k$  – число членів, які охоплює авторегресія (порядок авторегресії);  $E_{\tau}$  – несистематична помилка. Вона характеризує випадковість складників ряду, тобто ту його частину, яка носить суто випадковий характер, а тому не може враховуватись алгоритмом розрахунку прогнозу. При оцінці справджування прогнозу значення цієї помилки визначається різницею між фактичною  $Y_{\phi}$  і розрахунковою  $Y_{\tau}$  величинами, тобто

$$E_{\tau} = Y_{\tau} - Y_{\phi}; \quad (8)$$

$a_1, a_2, \dots, a_k$  – коефіцієнти авторегресії, які визначаються окремо для кожного місяця і показника (метеоелемента) за допомогою методу найменших квадратів, тобто мінімізації квадрата відхилень прогнозованих значень від фактичних:

$$\min I = \sum_{i=1}^n (Y_{\tau i} - Y_{\phi i})^2, \quad (9)$$

де  $n$  – число членів ряду.

Достовірність розрахунків за алгоритмом авторегресії визначається за допомогою допустимої статистичної помилки  $E_d$ , яка розраховується за формулою:

$$E_d = 0,674 \sigma, \quad (10)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення (стандартна помилка) прогнозованого елемента, яке знаходять з формули

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y_{\tau} - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad (11)$$

де  $\sum (Y_{\tau} - \bar{Y})^2$  – сума квадратів відхилень значень показника за кожний окремий рік від середнього значення за весь період попередніх спостережень;  $n$  – число випадків даного варіаційного ряду.

Розрахунки за моделлю авторегресії відповідають найбільшій достовірності за мінімального значення середнього квадратичного відхилення  $\sigma$ . При цьому і допустима статистична помилка  $E_d$  матиме найменше значення. Величина допустимої помилки ( $0,674 \sigma$ ) забезпечена 75% випадків, що відповідає умові, коли відхилення  $(Y_\tau - Y_\phi) \leq 0,674 \sigma$ .

*Примітка.* Для досягнення найбільшої достовірності розрахунків визначають оптимальну кількість прогнозів, які розраховують за алгоритмом авторегресії. З цією метою проводять послідовні розрахунки параметрів моделі для прогнозованого показника при заданій кількості прогнозів – 3, 5, 7, після чого порівнюють статистичні помилки розрахунків. За їхнім мінімальним значенням визначають порядок авторегресії (в алгоритмі розрахунків – це кількість прогнозів).

*Етап 2.* Визначення значень прогнозованого показника температур ( $T_{п(мс)}$ ) на метеостанції за формулою:

$$T_{п(мс)} = T_{п(об)} + [T_{N(мс)} - T_{N(об)}], \quad (12)$$

де  $T_{п(об)}$  – прогнозоване значення середньообласного показника;  $T_{N(об)}$  – середнє багаторічне значення (кліматична норма) середнього обласного показника;  $T_{N(мс)}$  – те саме відповідно на метеостанції, для якої розраховується прогноз показника.

Прогноз кількості опадів на метеостанції розраховується за формулою:

$$R_{п(мс)} = R_{п(об)} (R_{N(мс)} / R_{N(об)}). \quad (13)$$

*Етап 3.* Прогнозовану середньомісячну температуру  $T_{п(мс)}$  і кількість опадів  $R_{п(мс)}$  наносять на окремі карти-схеми гідрометеорологічної мережі, після чого проводять ізолінії рівних значень показників. Нанесення на цих картах також ізоліній середніх багаторічних даних дає змогу порівняти розподіл прогнозованих величин з кліматичною нормою, отже, проводити об'єктивну оцінку агрометеорологічних умов певного періоду вегетації польових культур.

Після розробки методики прогнозування середньомісячної температури і кількості опадів за місяць на окремих пунктах (метеостанціях) проведено оцінку справджування прогнозів шляхом порівняння прогнозованих величин з фактичними значеннями цих елементів відповідно інструкції, чинної в системі Гідрометеорологічної служби [7, 8].

**Результати.** Фрагмент оцінки прогнозів температури повітря і кількості опадів на метеостанціях Київської області наведено в табл. 1 і 2. При випробуванні методики використовували фактичні дані за 2000 р.

*1. Справджування прогнозів середньомісячної температури на метеостанціях Київської області у 2000 р.*

Метеостанції	СІЧЕНЬ				ЛЮТИЙ				БЕРЕЗЕНЬ			
	$T_n$	$T_\phi$	$\Delta = T_n - T_\phi$	P, %	$T_n$	$T_\phi$	$\Delta = T_n - T_\phi$	P, %	$T_n$	$T_\phi$	$\Delta = T_n - T_\phi$	P, %
1.Київ	-3,3	-4,1	0,8	100	-0,4	0,0	-0,4	100	1,5	1,7	-0,2	100
2.Тетерів	-3,7	-6,3	2,6	90	-0,8	0,0	-0,6	100	1,2	1,9	-0,7	100
3.Миронівка	-3,3	-4,7	1,4	100	-0,7	0,0	-0,4	100	1,2	1,8	-0,6	100
4.Фастів	-3,8	-4,5	0,7	100	-0,8	-1,0	0,0	100	0,9	1,3	-0,4	100
5.Яготин	-4,2	-5,5	1,3	100	-1,5	-1,0	-0,7	100	0,6	1,4	-0,8	100
6.Чорнобиль	-3,8	-4,5	0,7	100	-1,2	0,0	-0,9	100	1,0	1,3	-0,3	100
Серед.справджування	P, %			98				100				100
	КВІТЕНЬ				ТРАВЕНЬ				ЧЕРВЕНЬ			
1.Київ	10,5	12,7	-2,2	55	16,0	15,4	0,6	100	18,8	17,9	0,9	100
2.Тетерів	10,6	12,2	-2,4	45	15,3	14,8	0,5	100	18,2	17,6	0,6	100
3.Миронівка	10,8	12,6	-2,2	55	15,8	15,1	0,7	100	18,6	17,6	1,0	100
4.Фастів	10,2	12,1	-2,1	60	15,5	14,7	0,8	100	18,3	17,3	1,0	100
5.Яготин	10,1	12,7	-2,6	35	15,9	14,8	1,1	100	18,7	17,7	1,0	100
6.Чорнобиль	10,1	12,4	-2,3	50	15,7	14,5	1,2	95	18,5	17,2	1,3	85
Серед.справджування	P, %			50				99				98



**2. Справджування прогнозів кількості опадів за місяць  
на метеостанціях Київської області у 2000 р.**

Метеостанції	СІЧЕНЬ				ЛЮТИЙ				БЕРЕЗЕНЬ			
	R <sub>п</sub>	R <sub>ф</sub>	(R <sub>п</sub> /R <sub>ф</sub> ) 100	P, %	R <sub>п</sub>	R <sub>ф</sub>	(R <sub>п</sub> /R <sub>ф</sub> ) 100	P, %	R <sub>п</sub>	R <sub>ф</sub>	(R <sub>п</sub> /R <sub>ф</sub> ) 100	P, %
1.Київ	56	31	180	50	55	37	149	50	43	34	126	50
2.Тетерів	50	45	111	100	47	37	127	50	38	34	112	100
3.Миронівка	39	27	144	50	38	24	158	50	36	37	100	100
4.Фастів	51	49	104	100	46	42	109	100	38	32	119	100
5.Яготин	39	33	118	100	34	31	110	100	33	34	97	100
6.Чорнобиль	44	31	142	50	41	31	132	50	34	41	83	100
Серед.справджування P, %				75				67				92
	КВІТЕНЬ				ТРАВЕНЬ				ЧЕРВЕНЬ			
1.Київ	52	29	179	50	66	72	92	100	52	65	80	100
2.Тетерів	49	50	100	100	47	29	162	50	51	47	108	100
3.Миронівка	48	75	64	50	46	52	88	100	55	78	70	50
4.Фастів	52	57	91	100	97	105	92	100	61	65	94	100
5.Яготин	48	63	76	50	35	51	69	50	47	70	67	50
6.Чорнобиль	46	28	164	50	47	67	70	50	56	34	165	50
Серед.справджування P, %				67				83				75

T<sub>п</sub>, T<sub>ф</sub>, R<sub>п</sub>, R<sub>ф</sub> – відповідно прогнозовані та фактичні значення температури і опадів;

Загальну відносну оцінку якості прогнозів η за весь період (січень–червень) розраховують за формулою:

$$\eta = P/(P+g) 100, \quad (14)$$

де P – кількість прогнозів, справджування яких сягало 70% і більше; g – кількість прогнозів, справджування яких не перевищило 70%.

Для прогнозів середньомісячної температури на метеостанціях, наведених у табл. 1, загальна відносна оцінка якості прогнозування за шестимісячний період становила 83%, а прогнозів кількості опадів (табл. 2) дорівнювала 67%.

**Висновок.** Опрацьована методика довготермінового прогнозування показників гідротермічного режиму – середньо-

місячної температури й кількості опадів на окремих пунктах (метеостанціях) — і картування їхньої прогнозованої по території сприятиме більш повному і раціональному використанню агрометеорологічних ресурсів у сільському виробництві, зокрема при зрошенні, завдяки можливості враховувати мікрокліматичні особливості сільськогосподарських угідь.

1. *Просунко В.М.* Довготермінове прогнозування середньомісячної температури повітря і кількості опадів: метод. реком. — К., 2005. — 32 с.

2. *Тараріко Ю.А., Просунко В.М.* Чи впливають агрометеорологічні фактори на сталість землеробства. — Агроперспектива. — 2008. — № 6 (102). — С. 60–63.

3. *Просунко В.М., Цивін М.Н.* Перспективні напрями дослідження агрокліматичних ресурсів // Меліорація і водне господарство. — 2003. — Вип. 89. — С. 259–264.

4. *Шевченко А.О.* Агрометеорологічні ресурси країни. Їхнє вивчення та раціональне використання // Меліорація і водне господарство. — 2003. — Вип. 89. — С. 231–242.

5. *Методы* климатологической обработки метеорологических наблюдений / Под ред. О.А. Дроздова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1957. — 492 с.

6. *Просунко В.М., Шевченко А.О., Сагалюк І.С.* Статистичний метод довгострокового прогнозування погоди: зб. наук. праць Інституту агроресурсів / Системні дослідження та моделювання в землеробстві. — К.: Нива, 1998. — С. 40–47.

7. *Кульбіда М.І., Космік Н.М.* Порівняльна оцінка справджуваності довготермінових прогнозів погоди. — К.: Вісн. аграр. науки, 2009. — № 4. — С. 80–81.

8. *Методические указания* по проведению оперативных испытаний новых методов гидрометеорологических прогнозов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 101 с.

*Изложена методика прогнозирования с годовой заблаговременностью основных показателей гидротермического режима в пунктах расположения метеорологических станций. В основу ее положен статистический метод прогноза средней по области среднемесячной температуры и*

*количества осадков, а также связи их со средними многолетними характеристиками этих показателей на метеостанциях.*

*Procedure for prognosing with annual term of major indices of hydro-thermal regime in the points of meteorostations locations was developed. Statistical method of prognosis was used as the basis for prognosing of average temperature by the region and amount of precipitation as well as their connections with average perennials characteristics of these indices on meteorostations.*