

УДК 63:551.509

## ПРОГНОЗУВАННЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ВЕГЕТАЦІЇ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР

---

В.М. ПРОСУНКО, Р.В. САЙДАК, О.Г. ЛІСОВИЙ

Інститут гідротехніки і меліорації НААН

*Запропоновано методичні підходи щодо розрахунку агрокліматичних показників, які використовуються при прогнозуванні оцінки умов вегетації основних сільськогосподарських культур.*

**Ключові слова:** теплозабезпечення, вологозабезпечення, індекси сприятливості умов

**Постановка питання.** Входження України у Світову організацію торгівлі (СОТ) загостило проблему підвищення ефектив-

© В.М. Просунко, Р.В. Сайдак, О.Г. Лісовий, 2010  
Меліорація і водне господарство. 2010. Вип. 98

ності землеробства та конкурентоспроможності вітчизняної продукції рослинництва. Успішне вирішення цього питання пов'язане із зміною затрат на ресурсо- та енергоощадні технології вирощування провідних сільськогосподарських культур, що передбачає вичерпний характер використання природних і агрономічних ресурсів. Ефективне й раціональне використання їх у сучасних системах ведення землеробства пов'язане з формуванням складних масивів знань про ресурси, методи їхньої оцінки, прогнозування та узагальнення.

Особливий інтерес і водночас складність становлять агрокліматичні ресурси. Саме вони забезпечують рослини чотирма з п'яти факторів життя, більшість яких, а саме показники гідротермічного режиму, вирізняються надзвичайною мінливістю в часі й просторі. Їхні кількісні поєднання та взаємодія в певні міжфазні періоди розвитку сільськогосподарських культур визначають рівень продуктивності рослинництва [1]. У зв'язку з цим розробка методичних, науково-технічних та інформаційних засобів оцінки агрокліматичних ресурсів є основою детального районування території України за рівнем сприятливості умов вегетації рослин. Такі дані необхідні для оптимізації структури посівних площ у межах ґрунтово-кліматичних зон і адміністративних утворень. А опрацювання та освоєння методів прогнозування й раціонального використання агрокліматичних ресурсів поточного року забезпечує основу багатocільової технології вирощування польових культур [2].

Основна концепція необхідності врахування агрокліматичних ресурсів полягає в тому, що кінцевий вихід сільськогосподарської продукції значною мірою залежить від агрометеорологічних умов вегетації і ця залежність зберігає свою актуальність на перспективу.

Оптимальні рішення на державному, галузевому та господарському рівнях можуть прийматися лише на підставі всебічного і глибокого аналізу різноманітної інформації про об'єкт управління, що особливо актуально для сільського виробництва.

Поєднання кількісних показників цих факторів з елементами потенційної продуктивності польових культур дає змогу здійснити оцінку показників гідротермічного режиму в період розвитку і росту рослин, тобто виявити ступінь сприятливості агрометеорологічних умов, що склалися на певному етапі та очікуються впродовж вегетації до її припинення.

На території України стабільними й оптимальними для фотосинтезу рослин протягом вегетаційного циклу районованих польових культур є світлові ресурси. Проте значного коливання в кожному році зазнають ресурси тепла і вологи [3]. Тому при оцінці тепло- та вологозабезпечення території детальному аналізу підлягають такі агрометеорологічні показники, як дати сталого переходу середньодобової температури через  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$  і  $10^{\circ}\text{C}$  навесні та восени; суми активних і ефективних температур; комплексний показник зволоження — гідротермічний коефіцієнт (ГТК), запаси продуктивної вологи в орному і метровому шарах ґрунту під основними сільськогосподарськими культурами. Для їхнього розрахунку використовуються прогнозовані дані про середньомісячну температуру повітря і кількість опадів за місяць.

Завдяки дослідженням, проведеним у попередні роки у відділі «Агроресурси», розроблено методику довготермінового прогнозування основних показників гідротермічного режиму [4], яка з 2006 р. використовується при розрахунках прогнозів агрометеорологічного забезпечення періоду вегетації сільськогосподарських культур і технологічних рекомендацій щодо їхнього вирощування.

В Українському гідрометеорологічному центрі проведено порівняльну оцінку справджування довготермінових прогнозів погоди, які розраховувались у 2007–2009 рр. за методиками трьох наукових установ: відділ «Агроресурси» Інституту гідротехніки і меліорації (ІГіМ) [4], Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут (УкрНДГМІ) [5] та Російський гідрометцентр (РосГМЦ) [6]. Справджування прогнозів оцінювалось за діючою в системі гідрометеорологічної служби методикою оцінки місячних прогнозів погоди [7].

Перший рейтинг за справджуванням прогнозів середньомісячної температури і кількості опадів за місяць одержала «Методика довготермінового прогнозування основних показників гідротермічного режиму — температури повітря і кількості опадів», яку опрацьовано у відділі «Агроресурси» ІГіМ.

Оцінка справджування прогнозів, розрахованих за цією методикою, виявилась стабільнішою і впродовж більшості місяців була вищою порівняно з оцінкою прогнозів, які розраховували за методиками, опрацьованими в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті (УкрНДГМІ) та Гідрометцентрі Росії [8].

У середньому за три роки випробування оцінка справджування прогнозів середньомісячної температури, розрахованих за методикою відділу «Агроресурси» ІГіМ, перевищила на 15–16% значення її за оцінкою прогнозів, які розраховувались з використанням методик УкрНДГМІ та Гідрометцентру Росії (таблиця).

*Порівняльна оцінка справджування довготермінових прогнозів середньомісячної температури повітря та кількості опадів за місяць, розрахованих за різними методиками в середньому за 2007–2009 рр.*

Розробник методики прогнозування	Температура повітря, °С	Опади, %
«Агроресурси» ІГіМ	85	67
УкрНДГМІ	69	63
РосГМЦ	70	60

Різниця між оцінкою прогнозів кількості опадів, розрахованих за методикою «Агроресурси» та іншими установами, в середньому за три роки становила 4–7%.

**Методика досліджень.** Опрацьовано методологію довготермінового прогнозування агрометеорологічних факторів, які впливають на продуктивність польових культур і загалом на кінцевий результат — урожай рослинної маси, зерна та коренеплодів. Це досягається при використанні алгоритмів розрахунку комплексу агрометеорологічних показників для оцін-

ки умов тепло- та вологозабезпечення періоду вегетації і оцінці сприятливості агрометеорологічних умов. Проведення розрахунків агрометеорологічних показників здійснюється в ПЕОМ послідовними операціями за чітко визначеними правилами, тобто опрацьованими алгоритмами, які передбачають:

- прогнозування середньомісячної температури і кількості опадів за місяць у 25 регіонах України з використанням методів математичної статистики для аналізу міжрічних коливань цих показників у ретроспективі з 2009 по 1881 р.;

- розрахунки агрометеорологічних показників за формулами (алгоритмами), опрацьованими у математичній статистиці [9, 10].

1. *Дати сталого переходу середньодобової температури через 0, 5, 10°C:*

а) для весни  $D_v = [(k - a) / (v - a)] d + 15;$  (1)

б) для осені  $D_o = [(v - k) / (v - a)] d + 15,$  (2)

де  $D_v, D_o$  — розрахункова дата сталого переходу середньодобової температури через 0, 5, 10°C відповідно для весни і осені;  $k$  — температура дати переходу, через яку потрібно визначити;  $a$  — середньомісячна температура нижче 0, 5, 10°C;  $v$  — те саме, але вище 0, 5, 10°C;  $d$  — кількість днів місяця, середньомісячна температура якого нижче 0, 5, 10°C.

2. *Сума ефективних температур понад 5°C ( $\Sigma T_e > 5$ ) для кожного місяця, яка розраховується за формулою:*

$$\Sigma T_e > 5 = (T_m - 5) n, \quad (3)$$

де  $T_m$  — середньомісячна температура повітря;  $n$  — кількість днів у місяці.

Загальна сума ефективних температур за вегетаційний період ( $\Sigma T_{e(vn)}$ ) складається з її місячних значень

$$\Sigma T_{e(vn)} = \Sigma T_{e(IV-X)}. \quad (4)$$

3. *Сума активних температур ( $\Sigma T_a$ ) між датами сталого переходу середньодобової температури через 10°C навесні та восени, яка розраховується за формулою:*

$\Sigma T_a = T_m \cdot m$ , (5)  
де  $m$  — число днів у місяці, коли середньодобова температура повітря дорівнювала чи перевищувала  $10^{\circ}\text{C}$ ;  $T_m$  — середньомісячна температура.

Загальна сума активних температур за вегетаційний період становить

$$\Sigma T_{a(\text{вн})} = \Sigma T_{a(\text{IV-X})} \quad (6)$$

4. Відхилення середньої температури за вегетаційний період від кліматичної норми  $\Sigma (T_i - T_n)_{\text{вн}}$  розраховується за алгоритмом

$$\Sigma (T_i - T_n)_{\text{вн}} = \Sigma [(T_i - T_n)_{\text{IV}} + (T_i - T_n)_{\text{V}} + \dots + (T_i - T_n)_{\text{X}}] / n, \quad (7)$$

де  $n$  — кількість місяців у вегетаційному періоді;  $T_i$  — середньомісячна температура  $i$ -го місяця;  $T_n$  — кліматична норма середньомісячної температури.

5. Середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  між середньомісячною температурою певного  $i$ -го ( $T_i$ ) і наступного  $j$ -го ( $T_j$ ) року за вегетаційний період  $(\text{вн})$ , яке визначають за алгоритмом

$$\sigma (T_i - T_j)_{\text{вн}} = \sqrt{\Sigma [(T_i - T_j)_{\text{IV}}^2 + (T_i - T_j)_{\text{V}}^2 + \dots + (T_i - T_j)_{\text{X}}^2] / n}, \quad (8)$$

де  $n$  — кількість місяців у вегетаційному періоді.

6. Відхилення місячної суми опадів від кліматичної норми  $R_n$ , яке обчислюють за формулою:

$$\Delta R = R_m / R_n \cdot 100 \%, \quad (9)$$

де  $R_n$  і  $R_m$  — відповідно середня багаторічна сума опадів за місяць (норма) і прогноз опадів за місяць у поточному році.

7. Комплексний показник зволоження — гідротермічний коефіцієнт (ГТК), який характеризується відношенням кількості опадів за місяць до суми позитивних температур у цьому місяці і розраховується за формулою:

$$\text{ГТК} = \Sigma R_{(\text{м})} / 0,1 \Sigma T > 0^{\circ}\text{C}, \quad (10)$$

де  $R_m$  — кількість опадів за місяць;  $\Sigma T > 0^{\circ}$  — сума позитивних температур за місяць.

Коефіцієнти ГТК характеризують такі умови зволоження: понад 1,6 — надмірно вологі; 1,3—1,6 — вологі; 1,0—1,2 — не-

достатньо вологі; 0,7–0,9 — посушливі; 0,6 і менше — дуже посушливі.

8. *Запаси продуктивної вологи*  $W_n$  (в мм) у метровому шарі ґрунту під озиминою на початок весни, які розраховуються за моделлю:

$$W_n = W_o + \Delta W, \quad (11)$$

де  $W_o$  — вологозапаси в кінці осені минулого року;  $\Delta W$  — зміна вологозапасів за зимовий період, що визначається за моделями:

для степової зони:

$$\Delta W = 0,21 \Sigma R + 0,62D - 33; \quad (12)$$

для лісостепової і поліської зон:

$$\Delta W = 0,115 \Sigma R + 0,56D, \quad (13)$$

де  $\Sigma R$  — кількість опадів, що випали за період від дати останнього визначення вологості ґрунту восени до дати розрахунку прогнозу, плюс опади очікувані від дати переходу середньодобової температури повітря через 5°C навесні;  $D$  — дефіцит повного насичення метрового шару ґрунту вологою восени, який визначається за різницею між найменшою вологоємністю і осінніми запасами вологи.

9. *Динаміка запасів продуктивної вологи* під культурами в кінці місяця, яку розраховують за рівнянням множинної регресії:

$$W_k = a_1 W_n + a_2 T + a_3 R + A, \quad (14)$$

де  $W_n$ ,  $W_k$  — відповідно вологозапаси на початок та кінець місяця;  $T$  — середньомісячна температура;  $R$  — кількість опадів за місяць;  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  — коефіцієнти рівняння множинної регресії;  $A$  — постійний член рівняння регресії.

10. *Визначення року-аналога стосовно до умов поточного року:*

$$\sigma(T_i - T_j)_{i\text{-року}} = \sqrt{\sum [(T_i - T_j)_{01}^2 + (T_i - T_j)_{02}^2 + \dots + (T_i - T_j)_{12}^2] / 12}, \quad (15)$$

де  $T_i - T_j$  — відповідно середньомісячна температура чергового (1881–2010)  $i$ -го та поточного  $j$ -го року.

Роком-аналогом вважається рік, для якого значення  $\sigma(T_i - T_j)$  є мінімальним.

Враховуючи те, що частка врожаю, яка залежить від агрометеорологічних чинників в умовах несталого або недостатнього забезпечення землеробства іншими складовими, які суттєво впливають на врожай, є найбільш ваговою, першим кроком щодо управління врожайністю в умовах господарювання в Україні є всебічне вивчення агрокліматичних ресурсів та їхній вплив на формування врожаю сільськогосподарських культур. Поряд з цим багатоваріантність, мінливість та динамічність агрометеорологічних чинників у просторі й часі, їхня неоднороззначна роль у продуктивності різних видів культурних рослин, як ніщо інше, потребує всебічного вивчення та пошуків закономірностей зв'язків шляхом математичного моделювання.

Для визначення впливу агрометеорологічних умов на продуктивність рослин визначають щорічні відхилення фактичної врожайності від її загального тренда за формулою:

$$Y_{\text{агрOMET.}} = Y_{\text{факт.}} / Y_{\text{тренд.}} \quad (16)$$

де  $Y_{\text{агрOMET.}}$  — урожайність завдяки впливу агрометеорологічних умов (у відносних величинах), у подальшому виражається індексом оцінки агрометеорологічних умов (I);  $Y_{\text{факт.}}$  — фактична господарська врожайність, ц/га;  $Y_{\text{тренд.}}$  — трендова врожайність, ц/га.

**Результати досліджень.** Моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування врожайності польових культур упродовж періоду вегетації здійснюється з урахуванням інерційності розвитку рослин. Тобто оцінку кожного наступного періоду проводять з урахуванням оцінки попередніх періодів [11], а саме:

- розраховують індекс сприятливості початкового місяця (від сівби);
- оцінку умов у наступні місяці періоду вегетації здійснюють з урахуванням індексу оцінки попереднього періоду.

При цьому використовують метод множинної регресії. На першому етапі моделювання визначають гідрометеорологічні



показники, які найбільшою мірою впливають на продуктивність рослин.

Основними кліматичними факторами, що визначають продуктивність рослин, є рівень забезпечення теплом та вологою. Вагомість впливу цих показників на розвиток і ріст рослин всебічно обґрунтовано в біологічній, агрономічній та агрометеорологічній літературі. Рівень тепло- та вологозабезпечення визначається гідрометеорологічними показниками, як-то: середня температура повітря за період, сума активних та ефективних температур, кількість опадів, запаси продуктивної вологи. Для визначення найбільш вагомих кліматичних факторів як критерію оцінки проводили кореляційний аналіз. У модель розрахунку індексів сприятливості включали фактори з найбільшим коефіцієнтом кореляції [10].

Загальний вигляд моделі розрахунку індексів сприятливості агрометеорологічних умов має вигляд :

• для початкового періоду вегетації:

$$(17) \quad I_1 = Z_1 + a_1 x_1 + d_1 x_1^2 + b_1 y_1 + e_1 y_1^2 + \dots + a_n x_n; \quad (17)$$

• для кожного наступного періоду вегетації враховується індекс оцінки агрометеорологічних умов попереднього місяця, а оцінка останнього місяця відповідає оцінці всього вегетаційного періоду рослин:

$$(18) \quad I_n = Z_n + c_n I_{n-1} + a_n x_n + d_n x_n^2 + b_n y_n + e_n y_n^2, \quad (18)$$

де  $I_1 \dots I_n$  — індекси оцінки агрометеорологічних умов у початковий та  $n$ -й період (місяць) вегетації;  $Z_1 \dots Z_n$  — вільний член рівняння;  $a_n, b_n, c_n, d_n, e_n$  — коефіцієнти моделі;  $x_n, y_n$  — вхідні змінні (предиктори).

Періодами оцінки умов вегетації сільськогосподарських культур були прийняті календарні відрізки часу — місяці.

**Висновки.** Опрацьовано алгоритми розрахунку агрокліматичних показників та математичні моделі для визначення індексів сприятливості агрометеорологічних умов вегетації польових культур (озима пшениця, ранні ярі-ячмінь і горох, пізні-кукурудза, соняшник, цукрові буряки).

Використання довготермінового агрометеорологічного прогнозу основних показників гідротермічного режиму — середньомісячної температури і кількості опадів за місяць по території адміністративних регіонів України дає змогу із завчасністю 5–6 міс. прогнозувати оцінку умов вегетації районованих сортів сільськогосподарських культур, для яких розробляються рекомендації щодо технології вирощування, спрямовані на підвищення ефективності використання кліматичних ресурсів.

1. *Просунко В.М.* Сонячна активність, температурний режим, опади, прогнози // Інформ.-аналіт. зб. «Агропромисловий комплекс України»: стан, тенденції та перспективи розвитку. — К., 2001. — С. 29–45.

2. *Просунко В.М.* Агрометеорологічні ресурси України та технології їхнього раціонального використання // Агроперспектива. — 2007. — № 3 (87). — С. 22–23.

3. *Тараріко Ю.О., Просунко В.М.* Чи впливають агрометеорологічні фактори на сталість землеробства // Агроперспектива. — 2008. — № 6 (102). — С. 60–61.

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

5. *Мартазінова В.Ф., Сологуб Т.А., Іванова О.К.* Довгострокове прогнозування середньої місячної температури повітря та місячної суми опадів для території України // Системні дослідження та моделювання в землеробстві. — К.: Нива, 1998. — С. 28–39.

6. *Руководство по месячным прогнозам погоды.* — Л.: Гидрометеоиздат, 1972. — 366 с.

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

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

9. *Гулинова Н.В.* Агроклиматическая обработка метеорологических наблюдений. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974. — 152 с.

10. Пановский П.А., Баер Г.В. Статистические методы в метеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 241 с.

11. Сайдак Р.В. Оцінка агрометеорологічних умов вегетації та прогнозування врожайності провідних польових культур: метод. реком. — К.: ІГіМ, 2005. — 28 с.

*Предложены методические подходы к расчету агроклиматических показателей, которые используют при прогнозировании оценки условий вегетации основных сельскохозяйственных культур.*

*The technical approaches regarding the calculation of agrometeorological indices used at the evaluation of vegetation conditions for standard crop in Ukraine are given.*