

В.П.Дмитренко, Н.К.Строкач, Л.П.Однолєток

МЕТОД АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУ ВРОЖАЙНОСТІ СОНЯШНИКУ В УКРАЇНІ

Викладено наукові основи розроблення і зміст методу агрометеорологічного прогнозу районної врожайності соняшнику в Україні. Метод оцінки і прогнозу врожайності соняшнику для території районів розроблений уперше. Він вміщує показники господарського потенціалу, тренду врожайності, а також гідрометеорологічний блок. Справджуваність розрахунків урожайності знаходиться в межах 84-96%. Метод розрахований на агрометеорологів обласних оперативно-виробничих організацій Держгідромету. Може бути використаний у наукових дослідженнях і виробничих умовах для обґрунтування звичайної та інтенсивної технологій вирощування соняшнику.

Соняшник – основна олійна культура в Україні. Посівні площі його розподілені нерівномірно: близько 80% їх припадає на степову зону. Раніше вважалося, що 33% олії в насінні – це біологічна межа олійності соняшнику. Сучасні сорти здатні давати насіння, олійність якого досягає 60%. В Україні поширені середньостиглі і середньо пізньостиглі сорти, які дають високий вихід харчової олії і білка.

Не зважаючи на високу цінність соняшнику, належної уваги до врахування агрометеорологічних умов та коливань клімату при вирощуванні цієї культури не приділялось. Тому врожайність його невисока і в середньому складає 13-20 ц/га [1].

В окремі роки, за сприятливих умов погоди і застосуванні в господарствах адаптованих до них агротехнічних засобів, урожайність соняшнику може досягати 30-35 ц/га. Разом з тим, біологічний потенціал цієї культури дозволяє отримувати ще більші урожаї. Тому важливим є вивчення агрометеорологічних умов вирощування соняшнику для розроблення рекомендацій по догляду за ним із застосуванням прогнозу врожайності. Певним аспектам врахування агрометеорологічних умов під час вегетації цієї культури присвячені роботи [2, 3, 4, 5, 6, 11].

На засадах базової моделі “погода – урожай” УкрНДГМІ [7-8] опрацьовано метод розрахунку, оцінки й прогнозу врожайності насіння соняшнику. Він розроблений за результатами дослідження зв’язку врожаю сільськогосподарських культур з гідрометеорологічними величинами і антропогенними чинниками. Основи його базуються на біологічних властивостях соняшнику та головних законах землеробства і ознаках ґрунтів, які узагальнені за ідеями теорії подібності і складають спрощену модель формування врожайності посівів. Такі моделі враховують динаміку і вплив чинників, які визначають урожайність. Головними із них є періодизація онтогенезу рослин, залежність від гідрометеорологічних умов, родючості ґрунту і агротехніки, що у сукупності описуються загальною символічною моделлю:

$$Y_G = Y_B F_e C A, \quad (1)$$

де Y_G – місцевий або господарський максимум урожайності; Y_B – біологічний максимум урожайності відповідної культури; F_e – ефективна родючість ґрунту; C – плідність клімату; A – антропогенний вплив на формування врожайності за соціально-економічних, організаційних, технологічних та інших засобів.

У спрощеному вигляді за змістом (1) загальна модель оцінки врожайності може бути представлена як базова:

$$y = Y_G S(T, R)_{XII-VIII} (1-u) \eta(\gamma), \quad (2)$$

де y – розрахована врожайність; Y_G – щорічний господарський максимум; $S(T, R)_{XII-VIII}$ – сумарний коефіцієнт продуктивності культури за температурою повітря T і опадами R за грудень-серпень; $(1-u)$ – блок урахування впливу зріженості посівів u ; $\eta(\gamma)$ – блок оцінки впливу додаткових чинників на врожай.

Уся багатогранність біологічних властивостей рослин, їх сортовий склад у цій моделі враховано за допомогою максимальної врожайності. Така продукція може бути отримана тільки за умов збігу оптимальних значень усіх чинників, що визначають динаміку розвитку агрофітоценозу.

За порівнянням наслідків численних досліджень [2-8] із впливу комплексу врахованих чинників з метою прогнозу врожайності соняшнику найбільш придатна базова модель В.П.Дмитренка [7]. Вона і

використана нами в розробці методу розрахунку, оцінки і прогнозу районної врожайності соняшнику.

Щорічний господарський максимум Y_T у цій моделі залежить від біологічного потенціалу, продуктивності сорту, клімату, родючості ґрунту, рівня агротехніки та інших чинників на конкретній території і в певний період. Тому його параметри можуть застосовуватись лише на території і в часі, для яких вони визначені.

Розрахунок господарського максимуму врожайності соняшнику Y_T при відносно сталих у сортовому складі і розмірах посівних площах виконується за виразом:

$$Y_T = Y_C + A(t_i - t_o), \quad (3)$$

де Y_T – щорічний господарський максимум урожайності соняшнику в даній області, районі чи господарстві, ц/га; Y_C – статистичний максимум урожайності соняшнику в цій же місцевості для реперного року t_c , ц/га; A – середня величина щорічної прибавки врожайності, її тренд у тій же місцевості, ц/га, рік; t_i , t_o – поточний і реперний роки відповідно.

Формула (3) дає уявлення про рівень господарського максимуму врожайності у вигляді Y_C і його динаміку за лінійним законом за допомогою коефіцієнта A .

Значення статистичного максимуму врожайності Y_C для реперного року обраховується за допомогою методу Е.Гумбеля [9, 10].

Разом з тим, отримані таким чином величини вміщують значні коливання врожайності різних сортів соняшнику за щорічної мінливості посівних площ і наявності неоднакової зрідженості. Вони є випадковими, порушують вираз (3) і потребують його коригування за відсутності закономірних змін. Тому для використання в прогностичних розрахунках за різні періоди значення господарського максимуму врожайності уточнюється за формулою:

$$Y_T = Y_C + A(t_i - t_o) \pm \Delta y,$$

$$\text{за умови, що} \quad |0,05| \leq (\Delta y : Y_T) \leq |0,15|, \quad (4)$$

де $\Delta y = y_p - y_\phi$ – поправка за рахунок різниці між розрахованою y_p і фактичною y_ϕ урожайністю за ряд років.

При регулярних різнознакових коливаннях поправки Δu у межах від 5 до 15% господарського максимуму врожайності їх значення визначається на матеріалах попереднього періоду за 5–10 років. При значних похибках Δu необхідно уточнити рівень статистичного максимуму врожайності та правильність величини тренду. Рівень агротехніки за останній час у сільському господарстві нестійкий, тому тренд урожайності потребує відповідного щорічного коригування.

Статистичний максимум U_C і тренд A середньої районної врожайності соняшнику за 2005 р. у ґрунтово-кліматичних зонах України наведено в табл. 1. Вони свідчать про значну відмінність значень цих показників як між зонами, так і в межах однієї зони. Якщо розбіжності господарського максимуму зумовлені властивостями ґрунту, кліматом і погодою, то тренд урожайності залежить від технологічних і організаційно-економічних умов господарювання. У всякому разі, для кожного району чи господарства ці показники потребують відповідного визначення за методами [9-10] чи іншими.

Таблиця 1

Показники господарського максимуму середньої районної врожайності соняшнику за 2005 р. у ґрунтово-кліматичних зонах України

Ґрунтово-кліматична зона	Статистичний максимум за 2005 р., U_C , ц/га	Тренд урожайності, A , ц/га·рік
Лісостеп центральний	24,5 – 37,6	0,10 – 0,32
Лісостеп східний	21,0 – 36,2	0,11 – 0,25
Степ північний	20,7 – 30,0	0,01 – 0,15
Степ південний	18,7 – 31,2	0,01 – 0,31
АР Крим	20,3 – 28,8	0,01 – 0,17

За даними табл. 1 чітко простежуються зональні особливості обох показників. Статистичний максимум U_C та тренд районної врожайності A соняшнику стабільно зменшуються у південно-східному напрямі, за деяким винятком південного Степу. За такою особливістю, із деякими розбіжностями, відбувається і внутрішньозональний розподіл наведених показників. Ця властивість може бути використана в орієнтовному визначенні наведених показників для окремих районів.

Застосування моделі врожайності (2) передбачає поділ усього вегетаційного циклу на окремі міжфазові періоди. Щоб оцінити календарну тривалість основних міжфазових періодів соняшнику, нами були визначені середні багаторічні дати настання фаз розвитку найбільш районованих сортів. Наслідки цього дослідження показали, що дати настання фаз розвитку для різних сортів досить близькі. Різниця становить не більше 2 днів, екстремальні їх значення досягають 4-8 днів. Те ж саме можна сказати і про тривалість усіх міжфазових періодів [2, 11]. Для зручності розрахунків при складанні прогнозу врожайності соняшнику дати настання основних міжфазових періодів вегетаційного циклу прив'язані до календарного місяця [12]. У соняшнику вегетаційний цикл розбитий на п'ять періодів: передпосівний; сівба-сходи; сходи – друга пара справжніх листків; утворення суцвіть – цвітіння; цвітіння – дозрівання (табл.2).

Рівень урожайності соняшнику регулюється співвідношенням тривалості кожного періоду. Внесок їх у формування кінцевого врожаю може бути врахований за допомогою вагового множника α (табл. 2). Його аналітичний вираз і фізична суть обґрунтовані в [12-13].

Таблиця 2

Оптимальні значення температури повітря T_o °C і опадів R_o (мм) необхідні для соняшнику за періоди вегетації та внесок їх тривалості (α) в кінцевий урожай

Назва періоду	Місяці за середніми багаторічним и даними	Показники в ґрунтово-кліматичних зонах				Ваговий множник α , в долях одиниці
		Лісостеп (середньо-стигли сорти)		Степ (середньостиглі – пізньостиглі сорти)		
		T_o °C	R_o , мм	T_o °C	R_o , мм	
Передпосівний	XII – III	-5,0	180	-5,0	180	0,20
Сівба	IV	7,5	40	8,5	40	0,05
Сходи – друга пара справжніх листків	V – VI	16,5	110	17,0	120	0,19
Утворення суцвіть – цвітіння	VII	19,0	80	19,2	60	0,19
Цвітіння – дозрівання	VIII	19,0	60	19,7	50	0,37

Вплив температури повітря і опадів на формування врожаю соняшнику в усі періоди вегетації досліджувався В.П.Дмитренком [13]. Були отримані оптимальні значення температури повітря і опадів за основні міжфазові періоди. Нами вони були уточнені для більш довшого

ряду спостережень і більш високоврожайних сортів соняшнику (табл. 2). Із таблиці 2 видно, що оптимальні значення цих метеорологічних величин за вегетаційний цикл змінюються. В їх динаміці враховуються біологічні властивості рослин соняшнику у вигляді онтогенетичної кривої їх потреб до теплового режиму і умов зволоження.

Сумарний коефіцієнт продуктивності польової культури за гідрометеорологічних величин $S(T,R)_{XII-VIII}$ характеризує вплив температури повітря T і опадів R за всі періоди вегетаційного циклу соняшнику визначенням відхилення значень метеорологічних величин від їх оптимумів. Його загальний вигляд описується формулою:

$$S(T, R)_{XII-VIII} = \sum_i \eta_i(T) \eta_i(R) \alpha_i, \quad (5)$$

де α_i – ваговий множник, який враховує внесок тривалості кожного міжфазного i -того періоду у формування кінцевого врожаю; $\eta_i(T)$ – коефіцієнт продуктивності соняшнику за температурою повітря; $\eta_i(R)$ – коефіцієнт продуктивності культури за кількістю опадів у періоди i .

Сумарний коефіцієнт продуктивності $S(T,R)$ відзначає реакцію рослин на зміни умов навколишнього середовища у порівнянні з їх потребою. Вона може бути виражена приростом фітомаси за окремі міжфазні періоди, їх внеском у кінцевий урожай та іншими показниками продуктивності. У змісті моделі (5) така реакція визначається показником відносної врожайності у порівнянні з її потенціалом.

Відхилення кожного із чинників від оптимумів у будь-який бік пропорційно зменшує ефект їх впливу і знижує врожай. Це результат того, що врожай є підсумком дії чинників життєдіяльності за всі періоди вегетаційного циклу. Отже, сумісний вплив температури повітря і кількості опадів можна подавати у вигляді співмножників для окремого періоду та їх сум добутків за увесь вегетаційний цикл із врахуванням внеску кожного періоду.

Сумарний коефіцієнт продуктивності культури за температурою повітря і кількістю опадів за увесь вегетаційний цикл $S(T,R)$ враховує вплив вказаних метеорологічних величин на формування врожайності. Він може бути використаний для складання прогнозу врожайності і для оцінки умов її формування за певний відрізок вегетації та в цілому із різною метою.

Гідрометеорологічний блок $S(T,R)$, або сумарний коефіцієнт продуктивності характеризує зміни відносної врожайності під впливом основних метеорологічних величин – температури повітря і опадів за весь вегетаційний цикл соняшнику та за передпосівний період. Згадані значення температури повітря і опадів формуються під дією мезомасштабних метеорологічних процесів. Тому сумарний коефіцієнт продуктивності $S(T,R)$ відображає погодні складові врожаю. Значення $S(T,R)$ змінюються від 0 до 1. Показник $S(T,R)$ і його складові досить ґрунтовно описують весь процес впливу на формування урожаю температури повітря і кількості опадів, як при сприятливому, так і при несприятливому збігу обставин у всі періоди вегетаційного циклу.

За такими обставинами цим показником враховано вплив посушливості, надлишкового зволоження і інших мезомасштабних і епізодичних явищ (від однієї – двох декад) і до більш тривалих періодів. Але спостерігаються явища, дія яких на врожай триває менше доби або декілька діб і гідрометеорологічним блоком $S(T,R)$ не враховується. Тому в модель введено блок урахування додаткових чинників і несприятливих (локальних та епізодичних) явищ. Аналітичний вираз цього блоку в кожному випадку є індивідуальним у залежності від фізичних властивостей явища та особливостей реакції рослин на них.

Вивчення впливу короточасних несприятливих явищ погоди на зменшення врожайності в природних зонах України дозволило виявити найбільш шкодочинні з них для соняшнику. Це ті явища, що найчастіше виникають при посушливій та дощовій погоді.

Основними показниками, що характеризують вплив несприятливих явищ погоди на врожай соняшнику в природних зонах України згідно [14], вибрані недепресивна, депресивна тривалість явища і ступінь ризику від нього. Недепресивна тривалість явища свідчить про те, що несприятливий чи особливо небезпечний вплив його на врожайність є зовні непомітним за міжфазний період. Після досягнення критичного депресивного значення таке явище вже є несприятливим та дістає ознаки шкодочинності.

Ступінь ризику визначається повторюваністю спільної недепресивної та депресивної тривалості в певну фазу. Ці два показники обопільно пов'язані і характеризують шкодочинність будь-якого явища погоди в міжфазний період у формуванні врожайності.

Згідно з проведеним нами дослідженням [14], найбільшу шкодочинність соняшнику спричиняють заморозки, зливи, суховії, значна вологість повітря, екстремальні температури і надлишкові опади не зливого характеру.

Сумісний вплив цих явищ в моделі (2) враховується за допомогою формули:

$$\eta(y) = \prod_{k=1}^m (1 - \gamma_k), \quad (6)$$

де $\eta(y)$ – збитковість явища за його впливом на врожай; γ_k – функція, що враховує вплив k -того несприятливого чинника; m – кількість додаткових чинників.

В моделі (6) несприятливі чинники характеризуються числом днів впливу їх на врожайність, а функція зниження врожайності апроксимується рівнянням:

$$1 - \gamma = e^{-a \left(\frac{x - x_n}{10} \right)^2}, \quad (7)$$

де a – коефіцієнт, що залежить від виду несприятливого явища, умов вирощування, фази розвитку; x – число днів з явищем; x_n – число днів з недепресивною тривалістю явища.

У свою чергу, зрідженість посівів великою мірою залежить від дотримання необхідних технологічних операцій, щодо термінів сівби і густоти посівів та від погодних умов, особливо несприятливих.

Несприятливі явища погоди визначають зрідженість соняшнику, яка за даними аеровізуальних обстежень у середньому становить 10-15%, а в окремих випадках досягає 20-30% і більше. Вплив зрідженості u в моделі (2) відображено показником щільності посіву, яка дорівнює $1-u$. Зрідженість посівів соняшнику визначають після остаточного проривання. Просторова оцінка зрідженості досить надійно може бути отримана за допомогою аеровізуального методу [8]. При відсутності даних аеровізуальних обстежень використовують відомості наземних маршрутних обстежень. Необхідний мінімум обстежень складає: в окремому районі 25-50; в області 70-100 полів, розташованих більш-менш рівномірно на території. Якщо відомі дані про густоту посівів, то зрідженість визначають за виразом:

$$u = \frac{|N_o - N_\phi|}{N_o}, \quad (8)$$

де N_ϕ – фактична, а N_o – оптимальна густота посіву.

Різницю $N_o - N_\phi$ беруть по модулю, що дозволяє враховувати вплив як зріджених, так і загущених посівів. Оптимальна густота визначена для кожної конкретної області залежно від сортового складу.

Якщо відсутні відомості про зрідженість за конкретний рік, то на основі даних попередніх років середню багаторічну зрідженість посівів оцінюють за співставленням розрахункової врожайності y_p із фактичною y_ϕ за допомогою формули:

$$\bar{u} = \frac{\bar{y}_p - \bar{y}_\phi}{\bar{y}_\phi}. \quad (9)$$

У виразі (9) y_p – урожайність розрахована за формулою:

$$y_p = (Y_c + At) \cdot S(T, R). \quad (10)$$

Наші дослідження виявили, що зрідженість є найбільшою при вологій і холодній погоді на початку вегетації соняшнику. Установлено, якщо після сходів протягом місяця спостерігається 6 днів з дефіцитом вологості повітря 3 мб і нижче та хоча б один заморозок, то зрідженість збільшується в лісостеповій частині на 20%, а в степовій - на 10%. Тоді в сумі загальна зрідженість може досягати відповідно 30 і 40%. Ця поправка враховує не тільки густоту посівів, але й хвороби та забур'яненість посівів. Прохолодна волога погода стримує розвиток соняшнику, посилюючи схильність його до різних захворювань, яких у цієї культури нараховується близько 40 видів. Невиконання умов агротехніки призводить до збільшення зрідженості та недоборів урожаю цієї культури.

При врахуванні зрідженості можна користуватись і баловою оцінкою стану рослин. Якщо на час складання першого прогнозу (травень-червень) стан рослин оцінюють в 3 бали, то середню зрідженість збільшують на 20% як у Лісостепу, так і в степовій частині. При врахуванні зрідженості використовують одну із двох описаних поправок.

У сухий та жаркий рік коефіцієнт продуктивності $S(T,R)$ нижче 0,60 враховує сукупність несприятливих явищ, і поправки не потрібні.

Прогнози районної врожайності можна розробляти в чотири етапи. Перший прогноз опрацьовують після сходів (перша – друга декада травня), його завчасність становить близько 4-х місяців. Другий прогноз розробляють до 20 червня із завчасністю 2-2,5 місяці, третій – до 20 липня із завчасністю 1-1,5 місяці і останній розрахунок проводять наприкінці серпня. Для розробки прогнозу використовують середні багаторічні, прогностичні та фактичні значення температури повітря та суми опадів.

Розроблений метод може бути застосований при посівній площі в районі не менше 1000 га і за умови регулярного коригування господарського максимуму та тренду врожайності.

Застосування цього методу обласними гідрометцентрами України показало задовільні результати. Забезпеченість відносної помилки до 20% складала 70–90%.

* *

Изложены научные основы разработки и содержание метода агрометеорологического прогноза районной урожайности подсолнечника в Украине. Метод оценки и прогноза урожайности подсолнечника для территории районов разработан впервые. Он содержит показатели хозяйственного потенциала, тренда урожайности и гидрометеорологический блок. Оправдываемость расчетов урожайности находится в пределах 84-96%. Метод рассчитан на агрометеорологов областных оперативно-производственных организаций Госгидромета. Может использоваться в научных исследованиях и при решении производственных задач для обоснования обычной и интенсивной технологии возделывания подсолнечника.

* *

1. Гудзь В.П., Примак І.Д., Будьонний Ю.В. Землеробство. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.
2. Мельник Ю.С. Климат и произрастание подсолнечника. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 144с.
3. Подсолнечник / Под общ. ред. акад. В.С.Пустовойта. – М.: Колос, 1975. – 592 с.
4. Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. – М.: Колос, 1964. – 792 с.

5. Міуський П.Ю. Агрометеорологічні умови вирощування соняшника на території України // Праці ОГМІ. – Одеса, 1963. – Вип. 29. – С. 98-113.
6. Панников В.Д. Культура земледелия и урожай. – М.: Колос, 1974. – 368 с.
7. Дмитренко В.П. О моделях расчета урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических факторов // Метеорология и гидрология, 1971, №5. – С. 84-91.
8. Дмитренко В.П. Об основах метода аэровизуальных агрометеорологических наблюдений // Труды УкрНИГМИ. – 1969. – Вып. 84. – С. 104-115.
9. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965. – 450 с.
10. Дмитренко В.П., Бердник А.А. Статистическая модель географического максимума урожайности сельскохозяйственных культур // Труды УкрНИГМИ. – 1974. – Вып. 131. – С. 11-23.
11. Жданович Ю.Ю. О влиянии агрометеорологических факторов на продолжительность межфазных периодов подсолнечника на Украине // Труды УкрНИГМИ. – 1992. – Вып. 244. – С. 106-115.
12. Дмитренко В.П. Математическая модель урожайности сельскохозяйственных культур // Труды УкрНИГМИ. – 1973. – Вып. 128. – С. 3-23.
13. Дмитренко В.П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных сельскохозяйственных культур. Методическое пособие. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 48 с.
14. Дмитренко В.П., Строкач Н.К. Оценка влияния длительности неблагоприятных и опасных климатических явлений погоды на урожай зерновых культур в основные межфазные периоды развития // Труды УкрНИГМИ. – 1992. – Вып. 244. – С. 28-48.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*