

АГРОМЕТЕОРОЛОГІЯ

УДК 631: 551. 50 + 581. 19 + 633. 1

Б.В. Скорупський

ПОБУДОВА ТА ШЛЯХИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ СПЛУК АЗОТУ МІЖ ОРГАНАМИ РОСЛИН ЯРОЇ ПШЕНИЦІ

Розроблено модель розподілу сполук азоту між органами рослин ярої пшениці з використанням даних про удобрення, погодні умови та параметри росту, а також про структуру рослинного покриву посіву під час вегетації. Запропоновано апроксимацію логістичними кривими і рівняннями функцій росту в часі компонент рослинного покриву під час вегетації та загальну схему проведення обчислювального експерименту на ПЕОМ для уточнення параметрів залежностей у моделі з метою прогнозування білковості зерна ярої пшениці.

Вступ

Для забезпечення сталого розвитку сільського господарства України в умовах ринку слід мати на увазі, що кількість урожаю не завжди є сприятливим фактором. Адже надвиробництво може викликати зниження цін і рентабельність галузі. Якість же врожаю, як показник конкурентоздатності, завжди є сприятливою, у тому числі, у зв'язку з раціональним використанням ресурсів та самозабезпеченням України продовольством.

Вирішення проблеми врахування показників не тільки кількості, а й якості урожаю польових культур (в т.ч. його хімічного складу) потребує розробки відповідних методик прогнозів. В УкрНДГМІ прогнози якості зерна озимої пшениці розробляла І.Т. Левенко [1], а якості цукрового буряка – Н.І. Михайлова [2], як моделі множинної регресії [3]. Є також імітаційна модель “погода - урожай” М.А. Строганової [4], що містить блок утворення якості (хімічного складу) урожаю, як синтезу сполук азоту, у тому числі білків у зерні (подібне є також у моделі Е.В. Абашиної [5]).

Аналіз літературних даних про фізіологічні механізми формування якості врожаю зернових культур дозволяє поставити завдання – розробити короткостроковий (з завчасністю до 1 місяця) прогноз на

момент цвітіння оцінки якості майбутнього врожаю за даними про удобрення і погодні умови на попередніх стадіях вегетації та за зовнішнім видом (фітометричними характеристиками – щільністю і висотою стеблестою, індексом листової поверхні ЛП) посіву ярої пшениці (переважно м'яких сортів) з точністю, достатньою для віднесення до однієї із категорій (сильної, слабкої).

Оскільки показники врожайності і якості врожаю мають негативну кореляцію ([6], табл. 1), то потрібно знайти якийсь оптимальне співвідношення цих показників, що забезпечує максимальну кількість білка в сумарному врожаї. При цьому слід враховувати залежність цього співвідношення від зональних умов клімату і погоди в ареалі вирощування даної культури.

Таблиця 1

Коефіцієнт кореляції між вмістом протеїну в зерні і врожаєм сортів твердих і м'яких пшениць [6]

Сорт	Число врожаїв	Коефіцієнт кореляції
Лютесценс 62	16	- 0,629 ± 0,16
Альбідум 43	16	- 0,626 ± 0,15
Саррубра	14	- 0,838 ± 0,007
Саратовська 29	13	- 0,905 ± 0,005
Мелянопус 69	14	- 0,741 ± 0,12
Мелянопус 26	14	- 0,569 ± 0,18

Хоча хімічний склад продукції рослин визначають добрива, проте коливання показників виходу білка (у часі і просторі) під впливом клімату за своїм рівнем є у три рази більші, ніж під впливом добрив [7].

Оскільки процеси продуктивності рослин і формування білковості їх насіння тісно пов'язані, то модель розрахунку прогнозу білковості зерна повинна бути поєднана з якоюсь моделлю його врожайності.

Потрібна модель проміжного рівня складності й деталізації – між регресійними та імітаційними моделями. До таких належить фізико-статистична модель урожайності УкрНДГМІ [8]:

$$y = Y_{\max} \cdot S(T, R) \cdot (1 - u) \cdot (1 - \gamma), \quad (1)$$

де y – урожайність, Y_{\max} – господарський максимум урожайності культури, $S(T, R)$ – сумарний коефіцієнт продуктивності культури за температурою (T) та опадами (R), u – зрідженість посівів, γ – показник впливу локальних несприятливих умов.

Модель включає оптимальні ($S(T, R)$) та максимальні (Y_{max}) значення параметрів. Вона розглядає дію лімітуючих факторів (показників погоди) не на динаміку процесу накопичення асимілятів у часі, як в імітаційних моделях, а лише на процес їх розподілу за періодами часу (вагові коефіцієнти періодів вегетації), в географічному просторі (географічний максимум урожайності) і неявно – між органами рослини. Тут ці розподіли задані (із статистичних даних), як деякі “нормативні” (для моделі), що реалізуються при оптимальних агрометеорологічних умовах, відхилення від яких виникають внаслідок відхилень показників погоди від їх оптимальних (для цього виду рослин) значень. Прогнозна модель якості врожаю повинна бути такого рівня деталізації, щоб розрахунок за нею можна було б порівнювати і поєднувати з моделлю урожайності УкрНДГМІ.

Отже, вірогідно, така модель теж повинна включати деякі “нормативні розподіли” вуглецю (біомаси) та азоту між органами рослин за періодами їх росту, відхилення від яких виникають під впливом відхилення агрометеорологічних умов від оптимальних. Проте для визначання таких “нормативних розподілів” для азоту немає достатніх статистичних даних. Оптимальні умови погоди тут також відрізнятимуться від таких у моделі продуктивності УкрНДГМІ, залежачи, до того ж, можливо, від кількості добрив тощо. Проте можна спробувати одержати такі “нормативні розподіли” для азоту за допомогою деяких теоретичних способів, враховуючи фізіологічні механізми формування білковості зерна, тобто розглядаючи деякі спрощені і “стилізовані” моделі росту і розподілу вуглецю й азоту між органами рослин. Отримавши результати та використавши сумісно із моделлю урожайності УкрНДГМІ, можна вже теоретично дослідити можливість використання з цією метою показників оптимальності (та відхилень від них) агрометеорологічних умов моделі врожайності УкрНДГМІ, можливо з деякими їх модифікаціями. Такі питання і досліджуються в цій статті.

Винос азоту врожаєм зерна з ґрунту пропорційний сумарній кількості азоту в біомасі посіву [9]. З виносу азоту врожаєм зерна, маючи незалежний прогноз врожаю (можливо, за методикою УкрНДГМІ), можна одержати вміст білка в зерні.

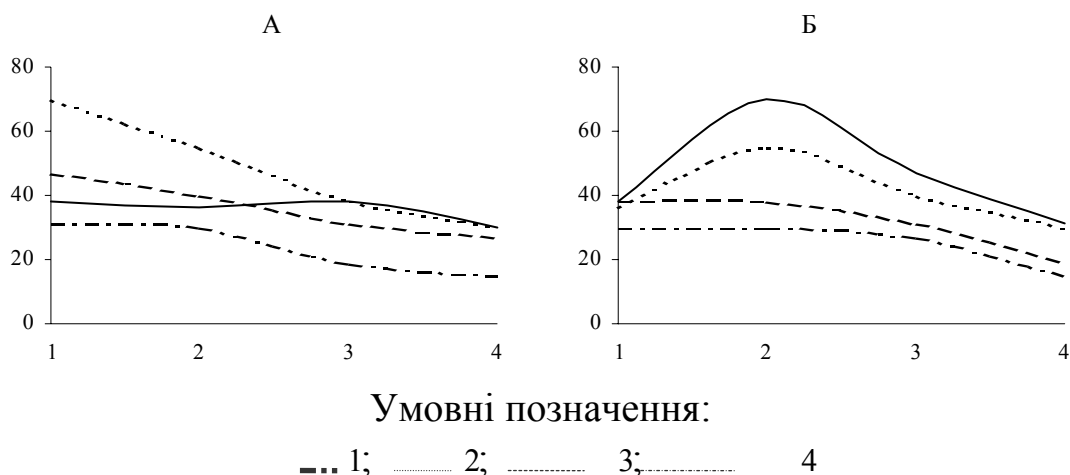


Рис. 1. Коефіцієнти поглинання азоту з добрив рослинами ярої пшениці у % залежно від: А – кількості внесених добрив (1 – 30 кг/ га, 2 – 70, 3 – 100, 4 > 110) за різних умов вологості; Б – умов вологості за період вегетації (1 – надлишкове, 2 – оптимальне, 3 – недостатнє, 4 – посушливі умови) за різних доз азотних добрив [10]

Сумарний винос посівом азоту з ґрунту, який треба знайти для прогнозу за вегетацію, дорівнює [10]:

$$\Sigma N = (K_{\phi} N_{Y} + K_{\Pi} N_{\Pi}) , \quad (2)$$

де N_{Y} та N_{Π} – кількість азоту в добривах та у ґрунті (до посіву) на одиницю площі, K_{ϕ} та K_{Π} – коефіцієнти поглинання рослинами азоту з добрив та з ґрунту за всю вегетацію (відомі в певних межах значень). При цьому K_{ϕ} залежить і від умов погоди за вегетацію – оптимальних чи посушливих, з недостатнім чи з надлишковим зволоженням (рис. 1).

Для того, щоб одержати прогноз білковості зерна, перетворимо базову формулу [11]:

$$N_Z = \frac{K_N * \Pi}{K_{зосп}} , \quad (3)$$

де N_Z – вміст азоту в зерні, Π – вміст азоту в усій надземній масі, %, K_N – частка азоту в зерні відносно його кількості у всій надземній масі рослини, %; $K_{зосп}$ – частка зерна в загальному врожаї сухої речовини, %.

Тут коефіцієнт K_N для певної культури досить сталий. Він залежить, ймовірно, від кліматичних умов більше, ніж від умов погоди та кількості добрив [9]. Для пшениці $K_N = 0,7 - 0,88$ [12].

Величина $K_{\text{госп}}$ також впливає на білковість: коли вона менша, то з вегетативної маси рослин реутилізується більша кількість азоту в меншу кількість зерна, збільшуючи білковість.

У формулу (3) підставимо значення Π і $K_{\text{госп}}$ (за їх визначенням):

$$\Pi = \frac{N_{\Lambda}\Lambda + N_C C + N_K K + N_Z Z}{\Lambda + C + K + Z} = \frac{\Sigma N}{B}, \quad (4)$$

де N_C – вміст азоту в стеблі, N_{Λ} – вміст азоту в листі, N_K – вміст азоту в колосі, C – суха біомаса стебла, Λ – суха біомаса листя рослин, Z – маса зерна, K – суха біомаса колоса до моменту цвітіння (і м'якоті колоса після дозрівання зерна), ΣN – сумарний уміст азоту в надземній біомасі посіву (B) наприкінці вегетації.

$$K_{\text{госп}} = \frac{Z}{\Lambda + C + K + Z} \quad (5)$$

і одержимо рівняння відносно N_Z :

$$N_Z = K_N \frac{N_{\Lambda}\Lambda + N_C C + N_K K + N_Z Z}{Z} \quad (6)$$

Врахувавши формули (4) і (6), одержимо:

$$N_Z = K_N \cdot \frac{\Sigma N}{Z} \quad (7)$$

Звідси:

$$N_Z = K_N \cdot \frac{(K_{\phi} N_Y + K_{\Pi} N_{\Pi})}{Z} \quad (8)$$

Оскільки K_N можна вважати сталою, то у формулі (8) прогнозу вмісту білка в урожаї зерна можна взяти окремо прогнозне значення врожаю зерна за моделлю, наприклад УкрНДГМІ. Проте цей дуже неточний прогноз можна зробити лише на момент збору врожаю, оскільки K_{ϕ} та K_n показують поглинання рослинами азоту за всю вегетацію в цілому. Для завчасності прогнозу треба розглянути деякі додаткові співвідношення в їх динаміці в часі. Зокрема, введемо залежність ΣN від часу введенням множника $\frac{\Sigma \Delta N(t)}{\Sigma N}$ (це умовне позначення – цілісний вираз, а не дріб), одержаного за допомогою

апроксимації даних [13] у вигляді кривої з насиченням, з максимумом, рівним 1 (рис. 2).

$$\Sigma N(t) = \frac{\Sigma \Delta N(t)}{\Sigma N} * (K_{\phi} N_Y + K_{\Pi} N_{\Pi}) \quad (9)$$

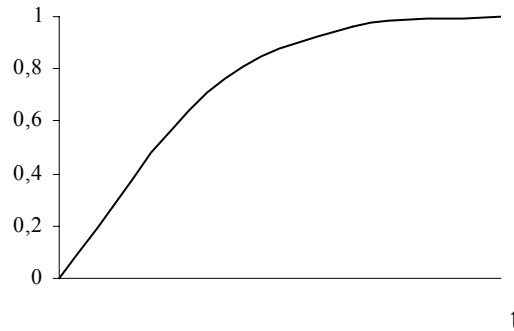


Рис. 2. Динаміка наростання маси поглинутого посівом азоту у фітомасі за час вегетації [13]

За формулою (8) під час прогнозування у момент цвітіння параметр K_{ϕ} (залежний від погодних умов до моменту цвітіння) і величина поглинання добрив $K_{\phi} \cdot N_Y$ вже відомі (оскільки до цвітіння поглинання азоту добрив в основному припиняється [14]). Даних про те, яка частина азоту ґрунту поглинається до і яка після моменту цвітіння, немає. Щоб робити припущення щодо цього, потрібно розглянути додаткові співвідношення.

З формул (4 і 6) видно, що кількість азоту в біомасі посіву залежить, зокрема, від співвідношення біомас листя і стебел у посіві, оскільки вміст азоту в листі у 2-3 рази більший за вміст азоту в стеблах, маса яких у 3-5 разів більша за масу листя в посіві на момент цвітіння [12, 15].

Можна припустити, що більший вміст азоту в біомасі посіву здатен забезпечити посів, який має велике відношення маси листя до всієї надземної біомаси посіву, але фотосинтетична здатність листя якого обмежена (тобто здатна утворити, в підсумку, меншу масу зерна) через пізній розвиток верхніх ярусів листя, затінення ними нижніх ярусів чи несприятливі умови погоди. Тому варто дослідити динаміку в процесі наростання в часі вегетації мас та вмісту азоту в цих органах, їх взаємного співвідношення.

Так, за [16], можна одержати залежність від часу для вмісту азоту в біомасі рослин у цілому – $\Pi(t)$ (рис. 3).

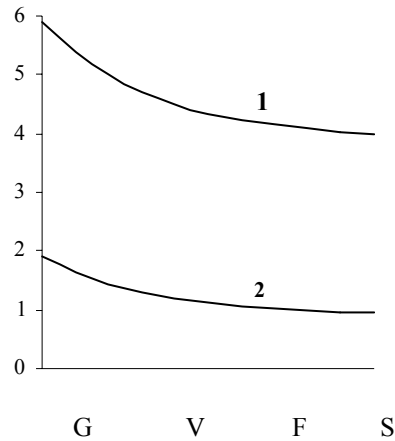


Рис. 3. Динаміка максимального (1) і мінімального (2) вмісту азоту (%) у біомасі рослин $\Pi(t)$ у різні фази розвитку[16]: G – проростання та ювенільний ріст, V – вегетативна фаза, F – цвітіння, S – наливання насіння

Тоді маємо, враховуючи і формулу (4):

$$\sum N(t) = \Pi(t)V(t). \quad (10)$$

Формула (10) вказує на динаміку наростання біомаси, яка залежить від погоди та добрив, але неявно. Явно спостерігається наростання в часі нових вузлів стебла та ярусів листя, на параметри яких впливає погода:

$$\sum N(t) = \Pi(t) \left(\sum_{i=1}^M \Lambda_i(t) + h(t) \cdot n(t) \right), \quad (11)$$

де $\sum_{i=1}^M \Lambda_i(t)$ – сума листових поверхонь з 1 по M -тий лист на одній рослині,

$h(t)$ – висота стебла (масу колосу рослини до цвітіння умовно включено в масу стебла), $n(t)$ – густина стеблестою посіву на певний момент часу (t) на одиниці площі.

Згідно з [17] процеси росту стебла у висоту $h(t)$ і росту кожного з прошарків листя (знизу догори по висоті рослини) $\Lambda(t)$ можна описати логістичними рівняннями виду (12) з відповідними графіками росту (рис. 4), але з різними параметрами для кожного прошарку листя.

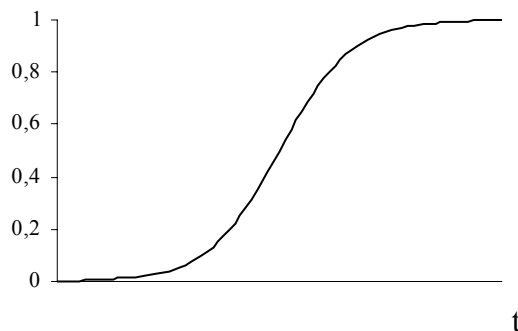


Рис. 4. Логістична крива [19]

Біологічні процеси часто описуються диференціальним рівнянням Ферхюльста - Перла [18]:

$$\frac{dx}{dt} = rx(K - x), \quad (12)$$

що враховує початкову відносну швидкість росту r і граничне кінцеве значення K змінної x (розміру, чисельності біологічних об'єктів тощо). K – максимальне значення x , оскільки розв'язок рівняння – монотонна функція. Його рішення (графік у вигляді логістичної кривої – рис. 4) буде таким:

$$x(t) = \frac{K}{1 + \frac{K - x_0}{x_0} * e^{-r(t-t_0)}} = \frac{Ke^{r(t-t_0)}}{\left(\frac{K}{x_0} - 1\right) + e^{r(t-t_0)}}. \quad (13)$$

Якщо для спрощення прийняти: $t_0 = 0$, $r = 1$, $K = 1$, $x_0 = \frac{K}{2}$, то:

$$x(t) = \frac{e^t}{1 + e^t} = \frac{1}{2} \left(1 + th \frac{t}{2}\right), \quad (14)$$

де $th(t) = \frac{e^t - e^{-t}}{e^t + e^{-t}}$ – гіперболічний тангенс.

У загальному вигляді розв'язок рівняння Ферхюльста-Перла буде таким:

$$x(t) = d + c \cdot th(at + b), \quad (15)$$

де a, b, c, d – сталі, що залежать від таких трьох параметрів: t_0, r, K .

Тому, користуючись логістичним рівнянням, можна застосовувати математичний апарат теорії гіперболічних функцій, значення яких уже табульовані [20].

За оптимальних умов росту максимальні (параметри K_i у рівняннях виду (12)) значення площі прошарків листя (у порядку наростання знизу догори) за величиною утворюють ряд, точки якого (відкладені на шкалі часу вегетації в моменти закінчення росту даного прошарку) теж лягають на деяку логістичну криву (рис. 5 наведено, як приклад параметрів онтогенезу злаків узагалі, до яких належить і яра пшениця).

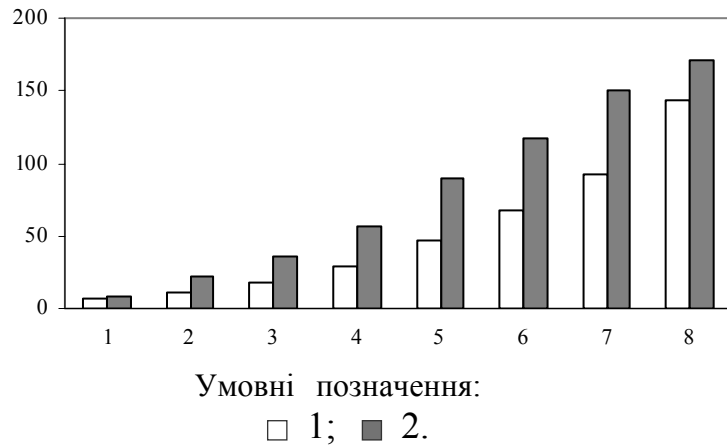


Рис. 5. Висота (см; умовне позначення 1) і площа листя (см² ; 2) пагона вівса в різних морфологічних станах (число прошарків листя та колін стебла) [21]

При цьому площа кожного листка на “усередненій ідеалізованій” рослині більша від попереднього, нижчого за нього (рис. 6 А). Для умов неоптимальних це вже не так – декілька верхніх листків (прошарків) можуть мати однакову площу, тому що верхні листки не досягають величини, можливої за оптимальних умов (рис. 6, Б, В).

За формулами (9) і (10) отримуємо два розрахунки однієї величини (виносу азоту посівом), щоб можна було ними коригувати. Для цього в них повинна бути спільна змінна, найвірогідніше – густина стеблестою посіву на певний момент часу t на одиниці площі – $n(t)$:

$$\frac{\Sigma N(t)}{n(t)} = \frac{\Sigma \Delta N(t)}{\Sigma N} \cdot \frac{(K_{\Phi} N_{\Upsilon} + K_{\Pi} N_{\Pi})}{n(t)} \quad (16)$$

та

$$\frac{\Sigma N(t)}{n(t)} = \Pi(t) \cdot \left(\frac{\sigma \cdot \sum_{i=1}^M \Lambda_i(t)}{n(t)} + \theta \cdot h(t) \right), \quad (17)$$

де σ – питома вага одиниці площі листя, θ – середня маса одиниці висоти стебла.

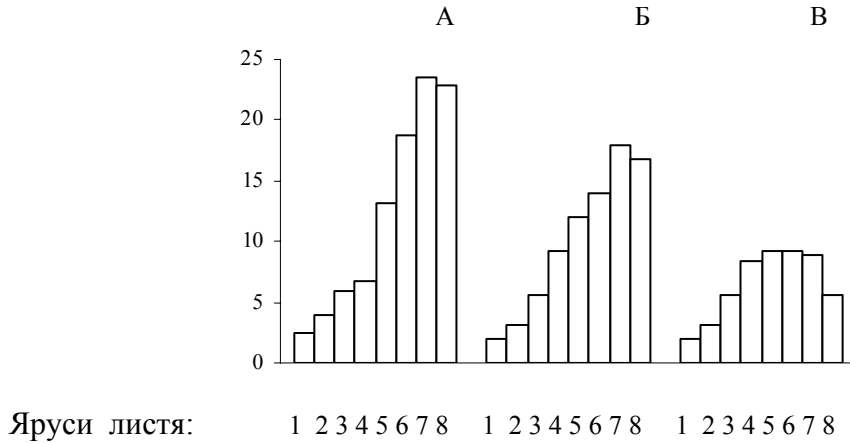


Рис. 6. Варіабельність розмірів листових пластин (площа, см²) ярої пшениці Саратовська 29 за ярусами листя
 А – вологий 1968 р., Б – середньозволожений 1970 р., В – посушливий 1971 р.
 [22]

У першому наближенні поглинання азоту з ґрунту на момент цвітіння можна вважати пропорційним до поглинання добрив. Так само – і для поглинання азоту з ґрунту після цвітіння.

Підставивши в (17) апроксимації з (12) для висоти стебел та площ поверхонь ярусів листя посіву t для $\Pi(t)$ у вигляді $\Pi(t) = a + e^{b-ct}$ (за рис. 3)

і для $\frac{\Sigma \Delta N(t)}{\Sigma N}$ у вигляді $\frac{\Sigma \Delta N(t)}{\Sigma N} = 1 - e^{-\alpha t}$ (за рис. 2), отримаємо:

$$\frac{\Sigma N(t)}{n(t)} = \frac{(1 - e^{-\alpha t})(K_{\Phi} N_Y + K_{\Pi} N_{\Pi})}{n(t)}, \quad (18)$$

α – сталий параметр.

$$\frac{\Sigma N(t)}{n(t)} = \frac{(a + e^{b-ct})}{n(t)} \cdot \sigma \sum_{i=1}^M \left\{ \frac{K_i}{1 + \frac{K_i - x_{i0}}{x_{i0}} * e^{-r_i(t-t_{i0})}} \right\} + \theta \cdot \left\{ \frac{(a + e^{b-ct})K_h}{1 + \frac{K_h - x_{h0}}{x_{h0}} * e^{-r_h(t-t_{h0})}} \right\}, \quad (19)$$

де a, b, c – деякі сталі (для певних варіантів розрахунку), які слід визначити в обчислювальному експерименті, M – число шарів листя, i – індекс, що відноситься до ярусів листя, а h – до стебла.

За цими формулами (18-19) можна розраховувати два прогнози виносу азоту біомасою посіву, які повинні взаємно узгоджуватись. Для одержання прогнозу в них потрібно підставити дані (різні для різних

прогнозів) і параметри (однакові для різних прогнозів з однаковим способом розрахунку). Параметри можна визначити шляхом “обчислювальних експериментів” на ПЕОМ, підставляючи варіанти гіпотетичних їх значень і порівнюючи з можливими реальними результатами прогнозу. Приклад подібного обчислювального експерименту є, зокрема, у роботі автора [23]. Після цих обчислювальних експериментів слід ще дослідити спосіб встановлення відповідності результатів обчислень (за рівняннями 18 і 19) з прогнозами врожаю зерна за моделлю УкрНДГМІ (з урахуванням також погодних умов за час вегетації) для одержання прогнозу білковості зерна.

До даних, які необхідні для прогнозу, належать: 1) дані про удобрення; 2) фітометричні; 3) агрометеорологічні.

Фітометричні дані про стан посіву на полі можуть визначатись на момент цвітіння, включаючи, зокрема, середню оцінку густоти та висоти стеблестою, розвитку ярусів листя та ступеня змикання та перекривання їх поверхонь, а також виміри співвідношення фітомас “листя / стебла” рослин (у середньому на посів).

Початковий вміст азоту в біомасі рослин $P(t_0)$ (а звідси і хід всієї кривої $P(t)$ під час вегетації) можна визначити більш точно, якщо врахувати біохімічні обмеження на співвідношення вмісту азоту і фосфору в біомасі у зв'язку з відповідними кількостями внесених добрив [16].

Параметри функцій відгуку на агрометеорологічні дані потрібно ще додати в рівняння (19), наприклад у вигляді коефіцієнтів продуктивності за декади (за температурою і опадами) у моделі врожайності УкрНДГМІ [8] (1). У цю модель росту (19) їх можна ввести двома способами: помноживши їх на показник швидкості росту r (у логістичній моделі росту шарів листя або стебел) або на показник K (максимальний розмір шару листя).

Щоб вибрати варіант розрахунку ходу динаміки росту (в обчислювальному експерименті) рослин посіву, можна, для спрощення, прийняти таке зокрема, враховуючи і дані, представлені на рис. 6. Для ярої пшениці сумі площ перших 4 листків (20 см^2 на 1 рослину в період кушіння) приблизно відповідає величина $ЛПП = 1$ (500 рослин на 1 м^2), мало відрізняючись за різних погодних умов [22]. Залежно від погоди верхні шари листя наростатимуть по-різному:

1) умови погоди оптимальні – верхні шари листя мають площу більшу від нижніх (ІЛП посіву – 4-5);

2) засуха – всі шари листя такої ж площі, як 4-й лист (ІЛП до 2,5);

3) умови погоди проміжні між засухою і оптимумом – 6-8 листи за площею, як 5-й, або 7-8 листи, як 6-й лист (ІЛП – 3-4).

За цих варіантів, що відповідають також різній густині стеблестою посіву, виникають різні співвідношення “листя/стебла”, що дають різний вміст азоту в біомасі. Параметри, уточнені за рівнянням (19) і пов’язані з густиною стеблестою посіву, можна підставити (в обчислювальному експерименті) в рівняння (18), а уточнені за рівнянням (18) параметри, пов’язані з кількістю азоту на одну рослину, – в рівняння (19) – аналогічно до обчислень за методом послідовних наближень [24].

Остаточний вибір способу врахування агрометеорологічних даних та параметрів визначається зокрема тим, що у разі зв’язку їх зі швидкістю росту r чутливість результату до зміни показників погоди може бути значно більша, ніж у разі зв’язку показників погоди з максимальним розміром шару листя K . Адже в першому випадку показники погоди входять у показник експоненти в (19).

У процесі обчислювальних експериментів можна встановити чутливість результату обчислень (прогнозу виносу азоту ґрунту біомасою посіву) до значень тих чи інших параметрів, а також порівняти чутливість розрахованого прогнозу до змін величин унесення різних добрив (азоту та фосфору) та до змін погодних умов у різні стадії вегетації. Отже, щоб практично довести метод, потрібно буде більше даних вимірювання для визначання параметрів, до яких результат розрахунку більш чутливий і менше – до яких менш чутливий [25].

Висновки

1. Спрогнозувати вміст азоту (білку) в зерні (на момент цвітіння) можна через прогнозування виносу азоту з ґрунту біомасою посіву разом з незалежним прогнозом урожаю зерна (наприклад, за моделлю урожайності УкрНДГМІ).

2. Щоб одержати метод прогнозування білковості зерна, слід дослідити спосіб встановлення відповідності результатів обчислень прогнозу виносу азоту посівом з прогнозами врожаю зерна за моделлю УкрНДГМІ.

3. Це можливо, якщо ці дві моделі будуть мати деяку аналогічну структуру. Модель урожайності УкрНДГМІ включає функцію розподілу

приросту продуктивності за періоди вегетації та неявно – розподілу між органами рослин. У моделі формування вмісту азоту функції розподілу вуглецю і азоту між органами рослин можна задати явно, використовуючи логістичні рівняння росту у часі біомас стебел рослин і прошарків листя на них. Але ці функції розподілу та їх параметри можна одержати не статистичним шляхом (через брак даних), а за допомогою теоретичних досліджень, включаючи обчислювальний експеримент на ПЕОМ.

4. Для обчислювального експерименту на ПЕОМ можна використати й те, що кількість азоту в біомасі посіву може оцінюватись двома шляхами: 1) за даними про удобрення та азот у ґрунті, 2) за фітометричними даними (особливо співвідношенням біомас листя та стебел з різним умістом у них азоту).

5. Для уточнення параметрів зв'язку виносу азоту посівом з фітометричними характеристиками ці два способи оцінювання можна взаємно коригувати, ввівши в них спільну змінну – густину стеблестою посіву, тобто віднісши показники маси до однієї рослини, і розглянути в динаміці процеси наростання маси листя та стебел за час вегетації (у зв'язку з поглинанням азоту з ґрунту).

6. Параметри функцій відгуку якості урожаю на агрометеорологічні показники для обчислювального експерименту можна задати, як перше наближення, у вигляді коефіцієнтів продуктивності за декади (за температурою і опадами) у моделі урожайності УкрНДГМІ.

* *

1. *Левенко И.Т.* Влияние факторов тепла и влаги на качество урожая озимой пшеницы // Тр. УкрНИГМИ. – Вып. 94. – 1970. – С. 79-87.
2. *Михайлова Н.И.* Методика прогноза сахаристости сахарной свеклы // Тр. УкрНИГМИ. – Вып. 159. – 1977. – С. 49-59.
3. *Бринкен Д.А., Страшный В.Н.* Среднепогодные характеристики качества зерна озимой пшеницы на ЕТС СССР в зависимости от климатических условий // Тр. ИЭМ. – Вып. 2 (39). – 1974. – С. 125-134.
4. *Строганова М.А.* Математическое моделирование формирования качества урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 150 с.
5. *Абашина Е.В.* Метод учета азотного питания растений в динамических моделях, предназначенных для оценки агрометеоусловий формирования урожая яровых зерновых культур // Тр. ИЭМ. – Вып. 13 (91). – 1979. – С. 101-119.

6. Приемы и методы повышения качества зерна колосовых культур. – Л.: Колос, 1967. – 380 с.
7. *Скорупський Б.В.* Засади агрометеорологічної оцінки якості продукції зернових культур // Наук. пр. УкрНДГМІ. – Вип. 254. – 2005. – С. 71-83.
8. *Дмитренко В.П.* Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 48 с.
9. *Демолон А.* Рост и развитие культурных растений. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 400 с.
10. *Федосеев А.П.* Погода и эффективность удобрений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 144 с.
11. Пшеница // Под ред. *Л.А. Животнова.* – К.: Колос, 1989. – 320 с.
12. *Гуляев Б.И.* и др. Фотосинтез, продукционный процесс и продуктивность растений. – К.: Наук. думка, 1989. – 152 с.
13. *Шарапов Н.И.* Повышение качества урожая сельскохозяйственных культур. – Л.: Колос, 1973. – 224 с.
14. *Кореньков Д.А.* Минеральные удобрения при интенсивных технологиях. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 192 с.
15. *Кумаков В.А.* Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы. – М.: Агропромиздат, 1985. – 270 с.
16. *Ф.Т.В. Пеннинг де Фриз.* Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 320 с.
17. *Полевой А.Н.* Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 178 с.
18. *Полуэктов Р.А.* Динамические модели агроэкосистемы. – Л.: Гидрометиздат, 1991. – 312 с.
19. *Рубин А.Б. и др.* Кинетика биологических процессов. – М.: Изд. МГУ, 1977. – 328 с.
20. *Янке Е. и др.* Специальные функции. – М.: Наука, 1964. – 344 с.
21. *Кан Н.А.* Органогенез и морфологическая структура посевов злаков. – С.Пб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 136 с.
22. *Кумаков В.А.* Физиология яровой пшеницы. – М.: Колос, 1980. – 210 с.
23. *Скорупський Б.В. та ін.* Модель продуктивності двовидового угруповання залежно від фаз розвитку його компонентів // Укр. ботан. журнал. – Том 50. – № 5. – 1984. – С. 83-88.
24. *Демидович Б.П., Марон И.А.* Основы вычислительной математики. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1963. – 660 с.

25. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 420 с.

Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ

Б.В. Скорупский

Построение и способы исследования модели распределения соединений азота между органами растений яровой пшеницы

Разработано модель распределения соединений азота между органами растений яровой пшеницы с использованием данных об удобрениях, условиях погоды, о параметрах роста и структуры растительного покрова во время вегетации. Предложено аппроксимацию логистическими кривыми и уравнениями процессов динамики роста во времени компонент растительного покрова во время вегетации и общую схему вычислительного эксперимента для уточнения параметров зависимостей в модели с целью прогнозирования белковости зерна яровой пшеницы.

B.V. Skorupskiy

Construction and investigation ways of model of nitrogene compounds distribution among plant organs of spring wheat

The model of nitrogen compounds distribution among plant organs of spring wheat is elaborated the data of manure, weather conditions, and parameters of growth and structure of plant crops cover during vegetation period are used. The approximation of growth functions of plant cover compounds (leaves, stalks) with logistic equations and curves is assumed. The general scheme of computation experiments with model (for make more exact the model dependents parameters) is suggested with intention to forecast the protein contents of spring wheat corn.