

УДК. 519.711.3:633.1:581.036.5

А.М. Польовий<sup>1</sup>, д.г.н., Д.В. Блицик<sup>1</sup>, П.О. Феоктістов<sup>2</sup>, к.б.н.

<sup>1</sup>Одеський державний екологічний університет

<sup>2</sup>Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення

## ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ЗИМОСТІЙКОСТІ РОСЛИНАМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ НА ТЕРИТОРІЇ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

*Представлені результати дослідження блоку динамічної моделі формування зимостійкості рослинами озимої пшениці у Південному Степу України на прикладі Одеської області. Ідентифіковані параметри блоку моделі формування зимостійкості рослинами озимої пшениці за даними лабораторно-польових експериментальних досліджень динаміки агробіологічних показників. Отримана модель описує процес загартування рослин озимої пшениці під впливом агрометеорологічних умов осінне-зимового періоду і може використовуватись для прогнозу їх перезимівлі як для конкретного поля, так і для Південного Степу України. Помилка між розрахованими модельними значеннями та фактичними даними, визначеними в ході лабораторно-польових експериментальних досліджень на дату припинення вегетації становить 7%.*

**Ключові слова:** математична модель, озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), зимостійкість.

**Вступ.** Математичні моделі можуть стати ефективним засобом інтеграції великого комплексу теоретичних уявлень про життєдіяльність агроєкосистем. Істотний інтерес, що спостерігається останнім часом до проблем моделювання агроценозів, пов'язаний також із зростанням практичного значення моделей [1].

Динамічні моделі росту та розвитку сільськогосподарських культур ґрунтовані на уявленнях, як біологічні процеси взаємодіють між собою та з навколишнім середовищем, і об'єднують в собі математичні представлення основних фізіологічних процесів, що відбуваються в рослинах. Кожна з моделей, що розроблена для багатьох культур, є унікальною за рядом процесів, які лежать в її основі [21].

Використання динамічних моделей для прогнозування фенології культур має декілька проблем. По-перше, більшість існуючих моделей недостатньо глибоко імітують фізіологічні процеси, що лежать в основі фенології рослин. По-друге, моделі акцентують увагу на сортах та агрометеорологічних умовах певного регіону, для якого вони були розроблені, і не можуть давати задовільних результатів при застосуванні цих же моделей для нових територій [27]. На жаль, більшість доступних моделей не знайшли практичного використання через складність визначення параметрів тих фізіологічних процесів, що використовуються для розрахунку моделі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом останніх 20 років для пшениці було розроблено понад 70 моделей, що імітують зміни продуктивності культури у відповідь на вплив факторів навколишнього середовища [21, 22, 25, 26]. Однак нараховується менше 20 моделей, які орієнтовані на моделювання перебігу фізіологічних процесів в рослинному організмі [23, 24].

Одним з основних процесів, що зумовлює майбутній врожай озимої пшениці, є загартування рослин до несприятливих умов зимівлі. Незважаючи на суттєві досягнення у дослідженнях морозостійкості озимої пшениці, лише незначна кількість моделей присвячена впливу генетичних та екологічних факторів на зимівлю рослин [1, 16, 17, 19, 26], що пов'язано з дуже високою складністю перебігу фізіологічних процесів в рослинному організмі і/або сукупністю екологічних факторів, які беруть участь в акліматизації рослин до дії низьких температур [15, 20].

За даними Національної академії аграрних наук України, якщо в 80-х роках ХХ ст. реалізація генетичного потенціалу була на рівні 50 % від потенційної врожайності озимої пшениці, то в останнє десятиріччя рівень реалізації її генетичного

потенціалу у виробничих умовах коливається в межах від 25 до 35 %. Однією з причин такого становища є суттєве зростання рівня потенційної продуктивності сучасних сортів на тлі відсутності зростання рівня стійкості рослин озимої пшениці до несприятливих умов зимівлі.

Оцінка стану озимих культур протягом зимівлі та прогнозування потенційної здатності рослин протистояти несприятливим агрометеорологічним факторам зимового періоду є важливою складовою економічного планування в аграрному секторі виробництва. В Україні середня площа посівів озимих культур, які останнім часом підлягають пересіву після загибелі під впливом несприятливих умов перезимівлі, становить близько 1,5 млн. га [6]. Розробка математичних моделей прогнозування перезимівлі посівів озимих культур дасть можливість приймати обґрунтовані рішення щодо подальшого ефективного використання матеріально-технічних ресурсів як на рівні окремих господарств, так і цілих регіонів.

**Метою роботи** є розробка блоку динамічної моделі формування зимостійкості для рослин озимої пшениці у Південному Степу України.

#### **Матеріали та методи дослідження.**

##### **1. Вихідний матеріал.**

Об'єктами дослідження були 5 сортів озимої пшениці: Одеська 16, Одеська 267, Антонівка, Альбатрос одеський та Струмок, що були висіяні на полях Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення 25 вересня 2013 року. Повторність у дослідах трикратна, площа посівної ділянки – 2 м<sup>2</sup>. Сівба здійснювалась протруєним насінням сівалкою Дунаєвського на базі трактора Т-16. Восени здійснювалось підживлення рослин N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> нітроамофоски [6].

Після появи першого листка, відбирались проби раз на добу по 20 рослин кожного сорту для визначення агробіологічних характеристик (висота рослин, глибина залягання вузла кущіння, площа листя, кількість пагонів кущіння, коренева система) та динаміки вмісту цукрів у вузлах кущіння. Вміст цукрів в рослинах озимої пшениці визначали антроновим методом [11]. Площа листків визначалася планіметричним методом за допомогою електронного пристрою – планіметра [9].

##### **2. Опис моделі.**

Динамічна модель формування зимостійкості створена на основі моделі впливу агрометеорологічних умов на ріст, розвиток і формування врожаю озимої пшениці В.С. Антоненко [1]. Вхідні дані для моделі були взяті в Одеському гідрометеорологічному інституті по станції Одеса. Модель має добовий часовий крок. В основі моделі лежать чотири основних погодних змінних: максимальна, середня та мінімальна добова температура, добове надходження сонячної радіації, запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-20 см та добова сума опадів. Модель реалізована на ПК за допомогою мови програмування Fortran.

Відомо, що в основі наукових уявлень про природу морозостійкості рослин лежить теорія загартування І.І. Туманова [10]. Для набуття властивостей зимостійкості рослини озимої пшениці повинні пройти два етапи підготовки: першу і другу фази загартування.

У другу половину осені, внаслідок зниження середньодобового рівня термічного режиму, відбувається зрушення температурного оптимуму фотосинтезу в бік нижчих температур. Відомо, що фотосинтез озимої пшениці відбувається і при температурах повітря -6...-8°C, причому зниження температурного мінімуму цього процесу зумовлюється морозостійкістю рослин [1, 8]. У вечірні, нічні та ранкові години, при зниженні температури повітря, надлишок продуктів фотосинтезу, що утворюється та не використовується на ростові процеси, спричиняє утворення, та накопичення вуглеводів у листках та вузлах кущіння рослин озимої пшениці [1, 10].

Процес утворення розчинних цукрів у вузлах кушіння рослин озимої пшениці визначається за рівняннями типу Міхаеліса-Ментен:

$$\frac{dCS_{B.K.}}{dt} = \frac{\frac{dCS_{B.K.}^{pot}}{dt} * mc_{Pss} * K_{B.K.}^{M-M}}{\frac{dCS_{B.K.}^{pot}}{dt} + (mc_{Pss} * K_{B.K.}^{M-M})} * 1000, \quad (1)$$

де  $\frac{dCS_{B.K.}}{dt}$  – швидкість утворення цукрів у вузлах кушіння, мг\*г/д;

$\frac{dCS_{B.K.}^{pot}}{dt}$  – потенційна швидкість утворення цукрів у вузлі кушіння, мг/д;

$K_{B.K.}^{M-M}$  – константи Міхаеліса-Ментен для вузла кушіння, мг/г.

Враховуючи дані І.І. Туманова про те, що інтенсивне накопичення цукрів восени найбільш інтенсивно відбувається в сонячні дні, навіть при температурах повітря вище 10-15°C [10], були введені розраховані експериментальним шляхом коефіцієнти накопичення розчинних вуглеводів у вузлах кушіння рослин озимої пшениці. Для спрощення розрахунків, інтенсивність сонячного сйва була умовно виражена коефіцієнтами від 0 до 2, де: хмарно = 0, сонячно = 2. В моделі початкова сума розчинних цукрів становить 5% від сухої маси рослин озимої пшениці.

Тому, формула для розрахунку суми розчинних цукрів має такий вигляд:

$$\text{Якщо } ss(j) = 0, \text{ то } SmCS_{B.K.} = (SmCS_{B.K.} + \frac{dCS_{H333}}{dt}) - 1.5, \quad (2)$$

$$\text{Якщо } ss(j) = 1, \text{ то } SmCS_{B.K.} = (SmCS_{B.K.} + \frac{dCS_{H333}}{dt}) + 0.5, \quad (3)$$

$$\text{Якщо } ss(j) = 1.2-1.4, \text{ то } SmCS_{B.K.} = (SmCS_{B.K.} + \frac{dCS_{H333}}{dt}) + 1.3, \quad (4)$$

$$\text{Якщо } ss(j) = 1.6-1.9, \text{ то } SmCS_{B.K.} = (SmCS_{B.K.} + \frac{dCS_{H333}}{dt}) + 1.7, \quad (5)$$

$$\text{Якщо } ss(j) = 0, \text{ то } SmCS_{B.K.} = (SmCS_{B.K.} + \frac{dCS_{H333}}{dt}) + 2.0. \quad (6)$$

Надлишок продуктів фотосинтезу визначають як різницю

$$\frac{dm_{Pss}}{dt} = \Phi^j - (G_{H333}^{max} + G_{H333}^{max}), \quad (7)$$

де  $\frac{dm_{Pss}}{dt}$  – надлишок продуктів фотосинтезу, що утворюється після задоволення потреб підземної та надземної частин рослин у асимілятах, г\*м<sup>2</sup>;

$\Phi^j$  – фотосинтез, г\*м<sup>2</sup>/д;

Концентрація виникаючих резервних продуктів фотосинтезу визначається як відношення

$$mC_{рез} = \frac{m_{рез}}{M}, \quad (8)$$

де  $mC_{рез}$  – концентрація резерву продуктів фотосинтезу в рослинах;

$M$  – маса рослин, г\*м<sup>2</sup>.

За даними А.А. Шиголева [13] для проходження періоду сходи-початок кущіння необхідна сума ефективних температур повітря, що дорівнює 67°C. Концентрація виникаючих резервних продуктів фотосинтезу  $mC_{рез} = 0$ , якщо значення суми ефективних температур менше 67°C.

Кількість продуктів фотосинтезу порівнюється з максимально можливою величиною приросту надземної і підземної біомаси рослин. Приріст маси надземної і підземної частини рослин визначається як:

$$\frac{dm_{назе}}{dt} = \begin{cases} G_{назе}^{max}, \text{ якщо } \Phi^J > G_{назе}^{max} + G_{підзе}^{max} \\ \left( \frac{G_{назе}^{max}}{G_{назе}^{max} + G_{підзе}^{max}} \right) * \Phi^J - \frac{dR_{назе}}{dt}, \text{ якщо } \Phi^J < G_{назе}^{max} + G_{підзе}^{max} \end{cases}, \quad (9)$$

$$\frac{dm_{підзе}}{dt} = \begin{cases} G_{підзе}^{max}, \text{ якщо } \Phi^J > G_{назе}^{max} + G_{підзе}^{max} \\ \left( \frac{G_{підзе}^{max}}{G_{назе}^{max} + G_{підзе}^{max}} \right) * \Phi^J - \frac{dR_{підзе}}{dt}, \text{ якщо } \Phi^J < G_{назе}^{max} + G_{підзе}^{max} \end{cases}, \quad (10)$$

де  $\frac{dm_{назе}}{dt}$  та  $\frac{dm_{підзе}}{dt}$  – приріст маси надземної і підземної частин рослин відповідно;

$G_{назе}^{max}$  та  $G_{підзе}^{max}$  – максимально можлива величина приросту надземної і підземної частин рослин в даних умовах відповідно;

$\frac{dR_{назе}}{dt}$  та  $\frac{dR_{підзе}}{dt}$  – дихання надземної і підземної частин рослин відповідно.

**Результати досліджень та обговорення.** Згідно літературних даних, рослинам озимої пшениці для формування восени 2-4 пагонів кущіння та найбільшої морозостійкості на півдні України необхідно 50-65 днів при сумі середньодобових температур 500-550°C [12].

За температурних умов 2013-2014 року, припинення осінньої вегетації озимої пшениці спостерігалось 26 листопада, при переході середньодобової температури через +5 °C. За умов сівби озимої пшениці 25 вересня, сума активних температур за період сівба-припинення осінньої вегетації становила 612,8 °C, а тривалість періоду становила 63 дні.

Формування біомаси в осінній період за рахунок кущистості, а не висоти, є одним із показників морозостійкості сортів [7]. Висота рослин на момент припинення осінньої вегетації становила 29 см (табл.1). Кількість корінців первинної кореневої системи в середньому становила 4-5 шт. на рослину. Поява вторинної кореневої системи та пагонів кущіння спостерігалась 13 листопада. На дату припинення осінньої вегетації рослини озимої пшениці утворили 4 пагони кущіння (табл.1). Згідно вимірювань, площа листя рослин на момент припинення осінньої вегетації в середньому становила 513 см<sup>2</sup> на одну рослину (табл.1).

Одним з важливих чинників, що впливає на стійкість рослин до несприятливих умов зими, є глибина закладання вузла кущіння. За оптимальних строків сівби та агрометеорологічних умов вегетаційного періоду, вузол кущіння розміщується на глибині 2-4 см [5, 6]. Глибина залягання вузла кущіння за результатами вимірювань складає 3,5 см на кінець припинення осінньої вегетації (табл.1).

Таблиця 1 – Формування надземної маси рослин по п'яти сортах озимої пшениці

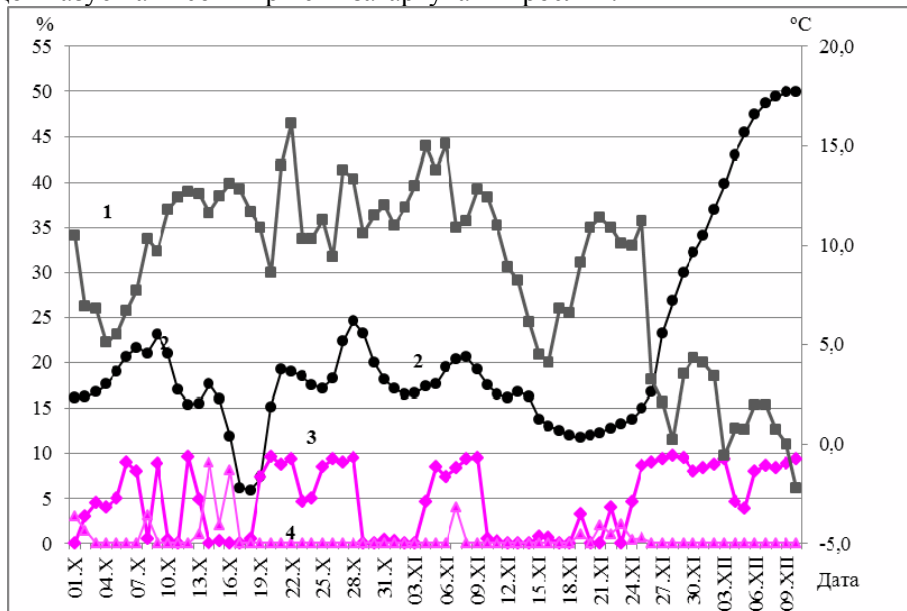
Дата відбору	Висота рослин, см	Глибина залягання вузла кущіння, см	Коефіцієнт кущіння	Площа листя, см <sup>2</sup> /росл.
10.X	16.8	2.7	1.0	60
20.X	19.8	2.9	1.2	69
31.X	22.1	3.1	2.3	158
10.XI	23.8	3.3	3.0	212
20.XI	26.3	3.4	3.7	277
30.XI	29.2	3.5	4.3	513
10.XII	30.2	3.6	4.6	513

На рис. 1 наведено середні значення динаміки вмісту розчинних цукрів у вузлах кущіння рослин озимої пшениці в залежності від температурного чинника та рівня освітленості.

Як показали наші дослідження, значний вплив на вміст цукрів у вузлах кущіння рослин озимої пшениці має рівень освітлення, оскільки спостерігається збільшення вмісту цукрів до переходу середньодобової температури через +5°C у сонячні дні. Наприклад, з 3 по 7 жовтня та з 25 по 28 жовтня, коли інтенсивність сонячного сяйва була високою, сума розчинних цукрів збільшувалась відповідно від 17 до 22 % та від 17 до 25 % (рис.1).

За наявності опадів та суцільної хмарності 10 і 11 жовтня, сума цукрів в рослинах значно зменшилась з 23 до 17 %; з 14 по 18 жовтня сума цукрів зменшилась на 11 % (величина вмісту вуглеводів зменшилась від 17 до 6 %). При частковій хмарності 23 і 24 жовтня та 15 і 16 листопада, вміст розчинних вуглеводів зменшився на 1 % (рис.1).

В рік проведення досліджень, умови для проходження першої фази загартування були досить сприятливими. При переході середньодобової температури повітря через +5°C у бік зниження, що спостерігався 26 листопада, відбувалось суттєве підвищення вмісту цукрів у вузлах кущіння рослин озимої пшениці. За літературними даними, при нормальному рівні загартування вміст цукрів сягає 32-35 % [2]. В наших дослідженнях вміст розчинних вуглеводів у вузлах кущіння від дати припинення осінньої вегетації збільшився з 17 % до 50 % від сухої маси, що вказує на високий рівень загартування рослин.



1 – середньодобова температура (права вісь ординат); 2 - динаміка вмісту розчинних цукрів у вузлах кущіння; 3 – число годин сонячного сяйва; 4- сума опадів

Рис. 1 – Осереднена динаміка вмісту суми розчинних цукрів (% сухої речовини) у вузлах кущіння рослин озимої пшениці за результатами польового експерименту.

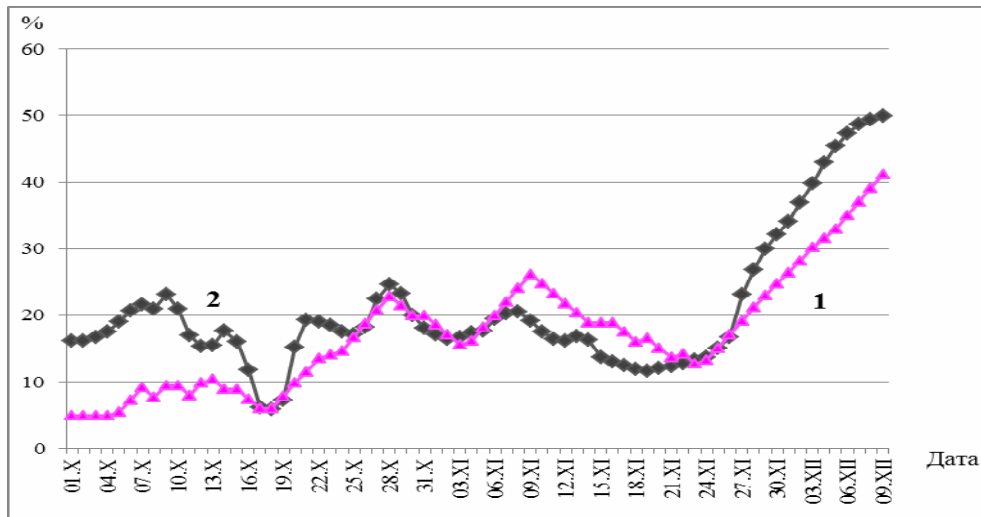


Рис. 2 – Змодельована (1) та фактична (2) динаміка вмісту розчинних цукрів у вузлах куштиння рослин озимої пшениці.

Початкова відмінність у кількості цукрів між фактичними та модельними значеннями пов'язана з раннім початком добору рослин, що не перейшли на автотрофне живлення. Враховуючи одержані дані, пропонуємо добирати дослідні рослини з початку появи другого листа (рис.2).

**Висновки.** На основі ідентифікованих параметрів оптимізовано блок формування зимостійкості рослинами озимої пшениці динамічної моделі для території Південного Степу України. Досліджено вплив температури повітря, опадів та інтенсивності сонячного сяйва на накопичення вуглеводів у вузлах рослин озимої пшениці під час загартування. В першу фазу загартування значний вплив на накопичення розчинних вуглеводів має інтенсивність сонячного сяйва вдень та знижені позитивні температури вночі. Одержані результати дозволяють спрогнозувати суму розчинних вуглеводів у вузлах рослинах озимої пшениці під впливом агрометеорологічних умов на дату припинення осінньої вегетації. Помилка між розрахованими модельними значеннями та фактичними даними, визначеними в ході лабораторно-польових експериментальних досліджень на дату припинення вегетації (26 листопада), становить 7 %.

### Список літератури

1. Антоненко В.С. Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы. – К.: «АртЭк», 2002. – с.64.
2. Литвиненко М.А. Удосконалення програми селекції сортів озимої м'якої пшениці універсального типу для умов півдня України у зв'язку зі змінами клімату // Зб. наук. праць СГІ-НЦНС. - Вип. 16 (56). – Одеса, 2010. – С. 9-22.
3. Мойсейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. – Л.: Гидрометиздат, 1975. – 295 с.
4. Нетіс І.Т. Пшениця озима на півдні України: Монографія. – Х.: Олдіплюс, 2011.- 352 с.
5. Носатовский А.И. Пшеница / А.И. Носатовский// Биология. – 2-е изд., доп. – М.: Колос, 1965. – 568 с.
6. Орлюк А.П., Гончарова К.В. Адаптивний і продуктивний потенціали пшениці. – Х.: Айлант, 2002. – 263 с.
7. Панкєєв С.В. Зимостійкість сортів озимої пшениці на Півдні України // Вісник аграрної науки Причорномор'я. - 2012. - Вип. 3, - С. 168-173.
8. Пешкова А.А., Дорофєєв Н.В. Адаптація фотосинтетического аппарата озимой пшеницы в период осеннего развития // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». – 2011. - Вип. 45. – С. 20-28.
9. Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха: Справочное пособие / Г.С.Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 300 с.

10. Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений / И.И. Туманов. — М.: Наука, 1979. — 350 с.
11. Филиппович Ю.Б. и др. Практикум по общей биохимии: Учеб. пособие для студентов хим. специальностей пед. ин-тов / Под общ. ред. Ю.Б. Филипповича. - М.: "Просвещение", 1975. — 318 с.
12. Четверик О. М. Вплив строків сівби та погодних умов осіннього періоду вегетації на перезимівлю та урожайність пшениці м'якої озимої // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. - 2011. - Вип.10. – С. 265-273.
13. Шиголов А.А. Методика составления фенологических прогнозов: Сб. метод. указаний. - Л.: Гидрометиздат, 1957. - С. 5-18.
14. Яковлев Н.Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы / Н.Н. Яковлев – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 419 с.
15. Andrews C.J., Pomeroy M.K., Seaman W.L. The response of fall sown cereals to winter stresses in Eastern Ontario, Can. J. Plant Sci. 66 (1986). pp. 25–37.
16. Anne Kari Bergjord, Helge Bonesmo, Arne Oddvar Skjelvag. Modelling the course of frost tolerance in winter wheat I. Model development. Europ. J. Agronomy 28 (2008). pp. 321–330.
17. Christophe Lecomte, Alex Giraud, Veronique Aubert. Testing a predicting model for frost resistance of winter wheats under natural conditions. Agronomie 23 (2003). pp. 51–66.
18. Cline, William R., 2007. Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country (Washington: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics).
19. Fowler D.B., Limin, A.E., Ritchie, J.T. 1999. Low-temperature tolerance in cereals: model and genetic interpretation. Crop Sci., 39. pp. 626-633.
20. Gusta L.V., Fowler D.B. Factors affecting the cold survival of winter cereals, Can. J. Plant Sci. 57 (1977). pp. 213–219.
21. Hunt L.A. and Pararajasingham, S. 1995. CROPSIM-WHEAT: A model describing the growth and development of wheat. Can. J. Plant Sci. 75. pp. 619-632.
22. John R Porter and Mikhail A Semenov. Crop responses to climatic variation. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2005; 360(1463). pp. 2021–2035.
23. Leonardis E.D., Savitch L.V., Huner N.P.A., Oquist G. & Grodzinski B. (2003) Daily photosynthetic and C-export patterns in winter wheat leaves during cold stress and acclimation. Physiologia Plantarum 117. pp. 521–531.
24. Martin P. N. Gent & Ido Seginer. A carbohydrate supply and demand model of vegetative growth: response to temperature and light. Plant, Cell and Environment(2012) 35. pp. 1274–1286
25. McMaster, G. S. Existing wheat yield models. Distributed listing, USDA - ARS Crops Research Lab, Fort Collins, CO.
26. Ritchie J.T., Godwin D.C., Otter-Nacke S. CERES Wheat. A simulation Model of Wheat growth and Development college Station. – Texas: Texas. AM University Press, 1985.
27. Z. Zalud, G.S. McMaster, W.W. Wilhelm. Evaluating SHOOTGRO 4.0 as a potential winter wheat management tool in the Czech Republic. Europ. J. Agronomy 19 (2003). pp. 495-507.

**Динамическая модель формирования зимостойкости растениями озимой пшеницы на территории Южной Степи Украины.**

**Полевой А.Н., Блышчик Д.В., Феоктистов П.А.**

*Представлены результаты наблюдений блока динамической модели формирования зимостойкости растениями озимой пшеницы в Южной Степи Украины на примере Одесской области. Идентифицированы параметры блока модели формирования зимостойкости растениями озимой пшеницы по данным лабораторно-полевых экспериментальных наблюдений динамики агробиологических показателей. Полученная модель описывает процесс закаливания растений озимой пшеницы под влиянием агрометеорологических условий осенне-зимнего периода и может использоваться для прогноза их перезимовки, как для конкретного поля, так и для Южной Степи Украины. Ошибка между рассчитанными модельными значениями и фактическими данными, определенных в ходе лабораторно-полевых экспериментальных наблюдений на дату прекращения вегетации составляет 7%.*

**Ключевые слова:** математическая модель, озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), зимостойкость.

**The dynamic model of winter hardiness formation by the plants of winter wheat in the Southern Steppe of Ukraine.**

**Polevoy A.N., Blyshchik D.V., Feoktistoff P.A.**

*The results of the research of the dynamic model block of winter hardiness formation by the plants of winter wheat in the Southern Steppe of Ukraine are presented, with the Odessa region as an example. The parameters of the model block of winter hardiness formation by the plants of winter wheat according to laboratory and field experimental observations of agrobiological indexes dynamics are identified. The model describes the process of hardening of winter wheat plants under the effect of agrometeorological conditions of autumn - winter period and can be used for forecasting of their wintering both for a particular field, and the Southern Steppe of Ukraine. The error between the calculated model values and the actual data obtained in the laboratory and field experimental observations on the date of ending of autumn vegetation is 7%.*

**Keywords:** mathematical model, winter wheat (*Triticum aestivum* L.), winter hardiness.