

УДК 633:631.547.15

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВОЛОГИ НАСІННЯМ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В ПЕРІОД ПОСІВ - СХОДИ

Сініцина В.В.

*Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, Україна
E-mail: victoria.sinitsyna@gmail.com*

Представлено моделювання накопичення вологи насінням під час його проростання. Моделювання даного процесу є початковим блоком моделі формування сходів зернових культур. Блок накопичення вологи дозволяє оцінити вплив ряду факторів на інтенсивність поглинання вологи та визначити час початку росту кореня та пагона. Детально описана структура блоку моделі. Модель реалізована на ПК, проведена низка чисельних експериментів, що описують реакцію насіння на зміну агрометеорологічних умов.

Ключові слова: насіння, ендосперм, волога, зародок, проросток, пагін, набубнювання, ріст, сходи.

ВСТУП

Початковим етапом проростання насіння є накопичення ним достатньої кількості вологи. Цей процес є пусковим фактором для початку подальшого росту проростка. Від агрометеорологічних умов за яких відбувається поглинання вологи зернівкою залежить його інтенсивність, а також час набубнювання насіння і поява сходів, як наслідок. Тому від адекватності результатів роботи даного блоку залежить точність прогнозування формування сходів зернових культур та всього подальшого вегетаційного періоду.

1. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою дослідження є визначення блоку розробленої моделі періоду від посіву до появи сходів зернових культур, котрий описує динаміку накопичення вологи насінням, а також представлення отриманих результатів чисельних експериментів.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Надходження ґрунтової води у насіння є пусковим фактором проростання та одним з головних чинників, які регулюють життєдіяльність насіння. Поглинання вологи при проростанні насіння відбувається в першу чергу за рахунок гідратації біоколоїдів, як наслідок розвивається онкотичний тиск та розриваються насінні оболонки. Однак, явище набубнювання є оборотним, тобто насіння можна знову висушити без значної втрати схожості. Сухе насіння містить лише зв'язану воду, котра практично не бере участь в обміні речовин. Тому для початку проростання воно повинно поглинути певну кількість вологи, необхідної для активізації ферментів та створення відповідного середовища для хімічних реакцій.

Хімічний склад і біологічні особливості насіння різних культур обумовлюють їх різну потребу в кількості поглинання води, необхідної для проростання [1]. Сухі насінини мають велику сисну силу. Тому вони здатні поглинати воду з ґрунту зі зниженою вологістю. Встановлено, що насіння не поглинають воду з ґрунту лише в тому випадку, якщо його вологість менше вологості стійкого зав'ядання [2]. Якщо води в ґрунті недостатньо, то процес набухання зупиняється до того часу, поки ґрунт не стане вологішим.

Алгоритм моделі створено на основі існуючих моделей проростання насіння з внесенням певних модифікацій [3, 4, 5, 6].

Потрапивши у ґрунт, насіння починає інтенсивно поглинати вологу. Цей процес відбувається завдяки різниці водних потенціалів ґрунту та насіння. Рівняння, що описує процес накопичення вологи насінням, наведено нижче.

$$\frac{dW_s}{dt} = S_s P_s (\psi_{soil} - \psi_s), \quad (1)$$

де $\frac{dW_s}{dt}$ – потік вологи, що надходить в насіння; S_s – поглинальна поверхня насіння; P_s – проникність оболонки насіння; ψ_{soil} – водний потенціал ґрунту; ψ_s – водний потенціал насіння.

Водні потенціали ґрунту та насіння можна визначити за такими рівняннями:

$$\psi_{soil} = 1,5 \exp\left(-7,76 \frac{W_{soil} - B3}{ПВ - B3}\right), \quad (2)$$

$$\psi_s = \frac{R_{const} T_{soil}}{V_m} \ln m, \quad (3)$$

де W_{soil} – вологість ґрунту; $B3$ та $ПВ$ – вологість зав'ядання та повна вологоємність ґрунту відповідно; V_m – порційний молярний об'єм; m – кількість поглинутої води. Емпірична формула (2) була запропонована Сидоренко О.Д. [7].

Основними частинами насіння є ендосперм та зародок. Відомо, що білки поглинають воду значно інтенсивніше, ніж вуглеводи. У складі зародка переважає запасний білок, саме тому зародок набухає швидше, збільшує свої розміри і створює певне загострення, що виступає під оболонкою зерна. Цей стан прийнято називати наклывуванням зерна [8].

Коли вологість насіння досягла певного критичного значення, відбувається запуск ростових процесів у насінні. Починає розвиватися проросток, котрий складається з кореня та пагона (колеоптилю). Після початку росту вологість насіння залишається незмінною.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Описана модель була реалізована на ПК за допомогою програми Microsoft Office Excel. З метою ідентифікації параметрів моделі була обрана кукурудза.

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВОЛОГИ НАСІННЯМ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В ПЕРІОД ПОСІВ - СХОДИ

Частина параметрів була отримана в результаті проведення експерименту з пророщування насіння кукурудзи у лабораторних умовах. Однак більшість параметрів були отримані шляхом проведення аналізу наявних у літературі даних, а також за допомогою оптимізації та ручної добірки.

Визначено чутливість моделі до зміни параметрів навколишнього середовища під час накопичення вологи насінням. У якості кроку в часі обрано одну добу. Розглядався шар суглинкового ґрунту товщиною 5 см з найменшою вологоємністю 10 мм. Оптимальна вологість ґрунту складає 7 мм.

Оскільки температура відіграє одну з найголовніших ролей під час проростання та розвитку рослин, тому не викликає сумнівів необхідність першочергового проведення аналізу чутливості зміни даного параметру. Отже, було проведено визначення чутливості моделі до зміни температури ґрунту на фоні оптимальної вологості ґрунту, а також збереження оптимальних вхідних параметрів посівного матеріалу. Обрано діапазон температур ґрунту від 10 °С, адже це біологічний нуль кукурудзи при котрому припиняється розвиток рослини, до 24 °С. Динаміка визначалася через 1 °С (рис.1).

Зниження інтенсивності накопичення вологи насінням зі зменшенням температури відбувається досить плавно. Однак, коли температура знаходиться у межах оптимуму (21 – 24 °С), запуск ростових процесів відбувається майже одночасно, адже вологість насіння досягає критичного рівня в одну добу. У наступну (третю) добу досягає свого максимуму вологість насіння за умов інтервалу температур – 16 – 20 °С. У випадку підтримання на протязі всього періоду температури 13 – 15 °С критичний рівень вологості буде досягнуто за 4 доби, а у випадку 12 – 11 °С – за 5 діб і лише за температури 10 °С запуск ростових процесів можливий за 6 діб.

Було проведено аналіз чутливості моделі до зміни вологості ґрунту. Визначення проводилися в інтервалі від 1 до 10 мм, через 1 мм вологості (рис. 2).

Вологість ґрунту має значний вплив на накопичення вологи насінням. Коли вологість ґрунту становить 6 – 10 мм, то запуск ростових процесів відбувається вже за 2 доби після висіву. Зі зниженням вологості ґрунту до 3 – 5 мм, інтенсивність накопичення вологи насінням зменшується і досягає критичного значення лише за 3 – 4 доби. Не зважаючи на те, що сухе насіння має високу сисну силу та водний потенціал, воно не здатне накопичити достатньо вологи для накльовування та початку росту осьових органів, коли вологість ґрунту менша за 3 мм.

Також було проведено аналіз чутливості до зміни початкових значень посівного матеріалу та внутрішніх параметрів моделі. В ході дослідження початкова вологість насіння змінювалася на 0,01 в інтервалі від 0,11 до 0,2, оскільки зазвичай під час висіву вологість насіння становить близько 0,14 – 0,16 сухої ваги насіння. Встановлено, що модель чутлива до зміни даного параметру, однак значного впливу на час початку росту проростку не виявлено. Але слід зазначити, що коли насіння лише потрапило в ґрунт, інтенсивність накопичення вологи більша у насіння, вологість якого менша.

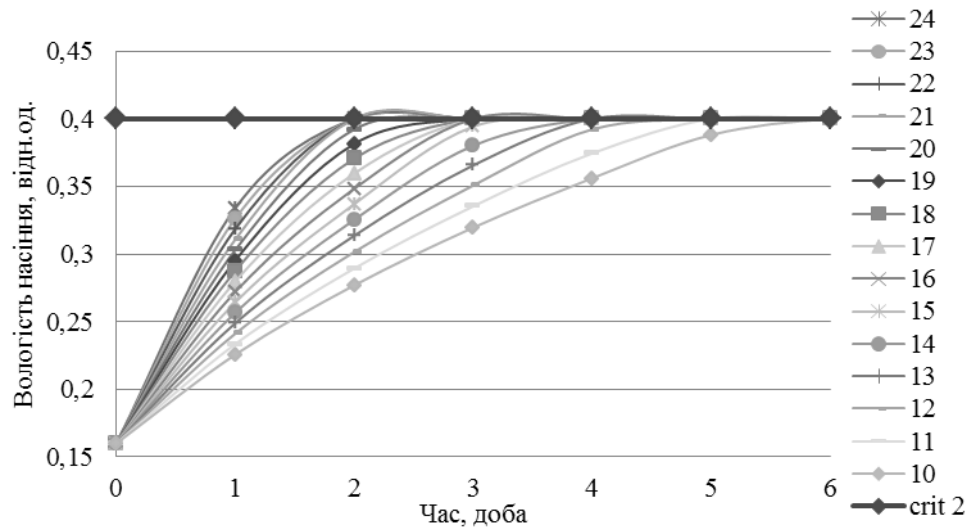


Рис. 1. Чутливість моделювання накопичення вологи насінням до зміни температури ґрунту (10 – 24 °С).

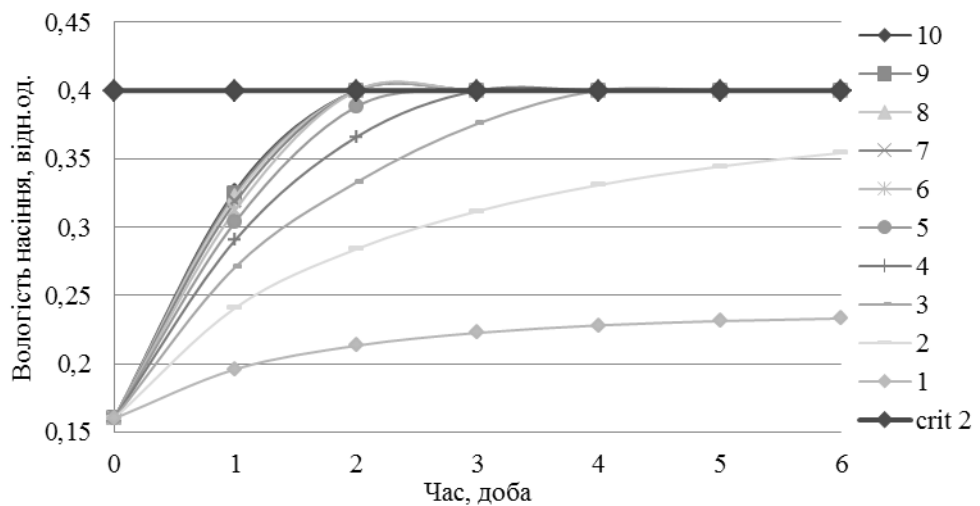


Рис. 2. Чутливість моделювання накопичення вологи насінням до зміни вологості ґрунту (1 – 10 мм).

Модель чутлива також до зміни початкової маси насіння. Для досліджу була обрана маса однієї насінини у інтервалі від 0,23 г до 0,32 г, через 0,01 г. Встановлено наступну залежність: зі збільшенням маси насіння швидкість накопичення ним вологи сповільнюється. Цей факт можна пояснити твердженням Носатовського А. І. [8] про те, що менші насінини мають більшу сисну силу. Однак,

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВОЛОГИ НАСІННЯМ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В ПЕРІОД ПОСІВ - СХОДИ

коли маса насінини перевищує 0,3 г, вона не здатна накопичити необхідну кількість води, тому подальший ріст не відбудеться.

Модель є малочутливою до зміни проникності оболонки насіння, адже даний параметр має досить мале значення (лише $0,0001 \text{ сек}\cdot\text{см}^{-1}$).

Основними агрометеорологічними факторами, що впливають на інтенсивність накопичення води насінням під час його проростання є температура та вологість ґрунту. Тому у низці чисельних експериментів вивчається вплив зміни агрометеорологічних умов на динаміку поглинання води насінням.

На рисунках 3, 4, 5 добре видно, що за умови, що вологості складає 7 – 9 мм у шарі ґрунту 0 – 5 см, а температура на протязі усього періоду зберігається на рівні 22°C , насіння наклюнується вже за 2 доби (рис.4, 5). У випадку недостатньої зволоженості цей період складатиме 3 доби (рис.3). Зі зниженням температури процес накопичення води сповільнюється і може тривати 3 – 5 діб у межах оптимального зволоження ґрунту та сягати 7 діб при недостатньому. Після досягнення критичного значення, вологість насіння практично не змінюється.

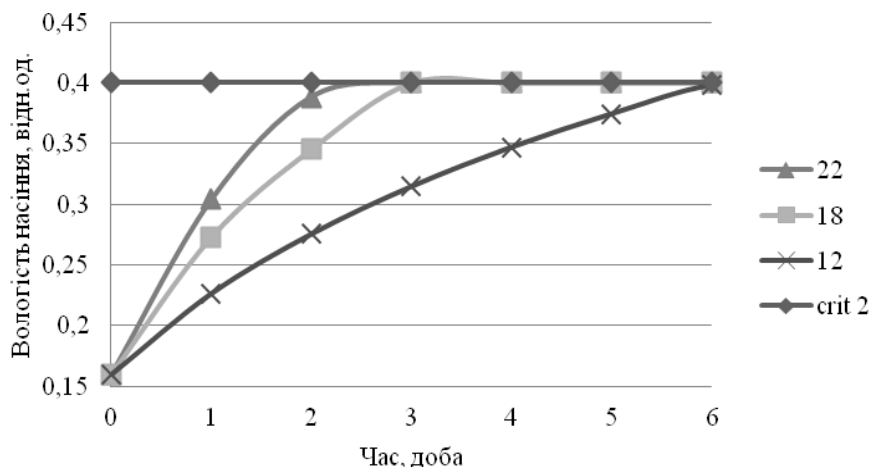


Рис. 3. Динаміка накопичення води насінням при запасах води 5 мм та температурах ґрунту 12°C , 18°C та 22°C .

У моделі враховано, що на початку накопичення води насінням цей процес відбувається інтенсивніше, ніж у наступний момент часу, а досягнувши критичного рівня (у даному випадку 40% вологості насіння) залишається незмінним. Крім того, з підвищенням температури ґрунту у насінні раніше відбувається запуск ростових процесів.

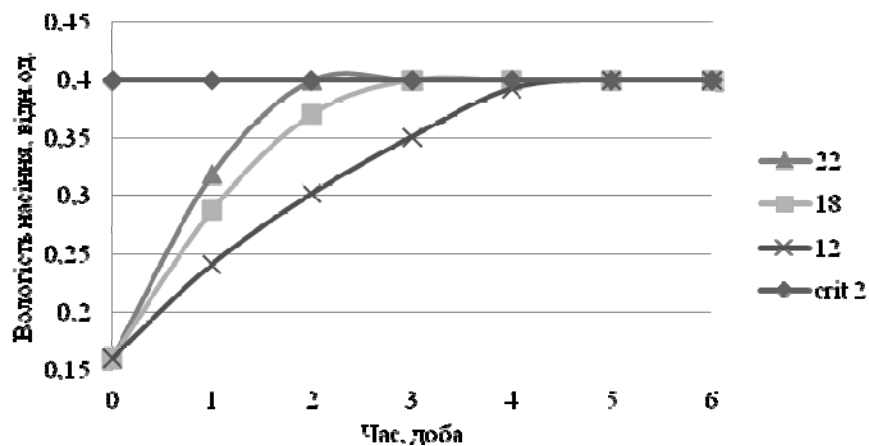


Рис. 4. Динаміка накопичення вологи насінням за умов оптимального зволоження (7 мм) та температурі ґрунту 12°C, 18°C та 22°C.

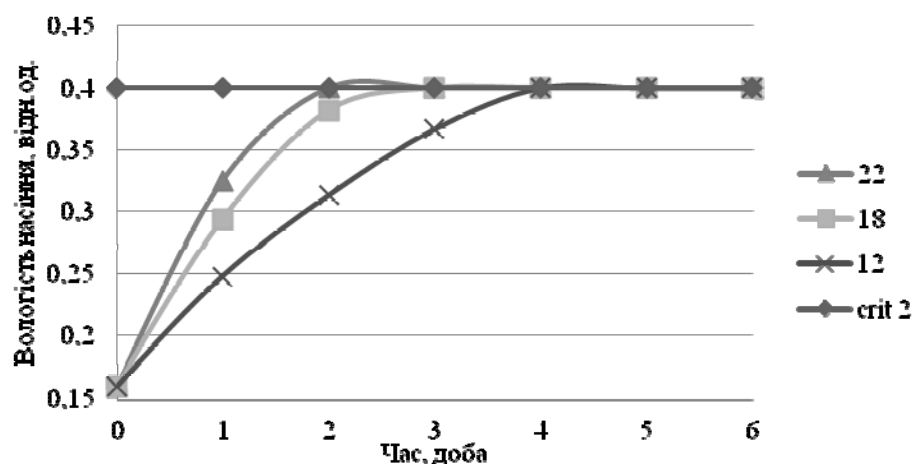


Рис. 5. Динаміка накопичення вологи насінням при запасах вологи 9 мм та температурах ґрунту 12°C, 18°C та 22°C.

ВИСНОВКИ

Представлений блок розробленої динамічної моделі формування сходів зернових культур, котрий описує динаміку накопичення вологи насінням та дозволяє визначити час початку росту осевих органів.

Насіння у значній мірі реагує на зміну температури та вологості ґрунту. Підвищення температури стимулює накопичення вологи, однак даний процес сповільнюється у разі недостатньої вологості ґрунту. Насіння дуже чутливе до зменшення вологості ґрунту, однак, підвищення вологості вище оптимального значення на фоні сприятливих температур майже не впливає на інтенсивність

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВОЛОГИ НАСІННЯМ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В ПЕРІОД ПОСІВ - СХОДИ

поглинання вологи. Насіння не поглинає воду з ґрунту лише в тому випадку, якщо вологість ґрунту менше вологості стійкого зав'язання. Якщо води в ґрунті недостатньо, то процес набухання зупиняється до того часу, поки ґрунт не стане вологішим.

Список літератури

1. Jame Y.W. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat / Y.W. Jame, H.W. Cutforth // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2004. – № 124. – P. 207–218.
2. Овчаров К.Е. Физиология формирования семян и прорастания семян / К.Е. Овчаров. – М.: Колос, 1976. – 255 с.
3. Коровин А.И. Физиологическая роль низкой температуры почвы в снижении полевой всхожести семян / А. И. Коровин // *Сельскохозяйственная биология*. 1966. – Т. 4. - № 2. – С. 61-69.
4. Польовий А.М. Динамічна модель проростання насіння та формування сходів зернових культур / А.М. Польовий // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2008. – №. 3. – С. 75-85.
5. Антоненко В.С. Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы / В.С. Антоненко. – К.: «АртЕж», 2002. – 64 с.
6. Павлова В.Н. Моделирование ростовых процессов в период прорастания зерна в рамках моделей «погода – урожай» / В.Н. Павлова // *Труды ВНИИСХМ*. – 1983. – Вып. 8. – С. 28 – 36.
7. Forcella F. Modeling seedling emergence / F. Forcella et al. // *Field Crops Research*. – 2000. – Vol. 67. – P. 123 – 139.
8. De Jong R. The effect of soil water potential, temperature and seedling depth on seedling emergence of wheat / de Jong R., K.F. Best // *Can. J. Soil Sci.* 59. – 1979. – P. 259-264.
9. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистемы / О.Д. Сиротенко. – Л.: Гидрометиздат, 1981. – 167 с.
10. Носатовский А.И. Пшеница / А.И. Носатовский. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1950. – 408 с.

Синицына В.В. Моделирование накопления влаги семенами зерновых культур в период посев – всходы. // *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия : География*. – 2013. – Т. 26 (65), № 4 . – С. 45–53.

Представлено моделювання накоплення вологи семенем при його проростанні. Моделювання даного процесу являється початковим блоком моделі формування всходів зернових культур. Блок накоплення вологи дозволяє оцінити вплив ряду факторів на інтенсивність поглинання вологи і визначити час початку росту кореня і пагона. Подробно описана структура блоку моделі. Модель реалізована на ПК, проведено ряд чисельних експериментів, описують реакцію насіння на зміну агрометеорологічних умов.

Ключевые слова: семя, эндосперм, влага, зародыш, проросток, побег, набухание, рост, всходы.

MODELLING OF GRAIN CROPS SEEDS MOISTURE ACCUMULATION DURING THE PERIOD FROM SOWING TO SEEDLING EMERGENCE

Sinitsyna V.V.

Odessa State Environmental University, Odessa, Ukraine

E-mail: victoria.sinitsyna@gmail.com

Considered the modelling of seeds moisture accumulation during the germination. Simulation of the process is an initial block of seedling formation model. The moisture accumulation block allows to estimate the influence a number of factors on the moisture absorption intensity and specify the beginning of roots and shoots growing. The structure

of the model block described in details. The model is implemented on a PC, a series of numerical experiments that describe the response of seeds to agrometeorological conditions variation.

Seeds largely respond to changes in temperature and soil moisture. Increasing the temperature stimulates the accumulation of moisture, but this process slows down in case of insufficient soil moisture. Seeds are very sensitive to a decrease in soil moisture; however, increased moisture above the optimum value on the background of favourable temperature has a little effect on the intensity of the absorption. Seeds do not absorb water from the soil only if the soil moisture is less than sustainable wilting moisture content. If is not enough water in the soil, the swelling process is suspended until the soil becomes wetter.

In numerical experiments it was found that the soil moisture has the strongest influence exactly at the stage of absorption and accumulation of moisture.

It should be noted that when soil moisture is around 6 - 10 mm the growth process is start already in 2 days after seeding. With decreasing soil moisture to 3 - 5 mm the intensity of seed moisture accumulation decreases and reaches a critical value within 3 - 4 days. Despite the fact that the dry seeds have a high absorption capacity and water potential, it is unable to accumulate enough moisture for being afoot and the beginning of axial organs growth when the soil moisture is less than 3 mm.

But reducing the intensity of seed moisture accumulation with decreasing temperature is quite smooth. However, when the temperature is within the optimum (21 - 24 °C), growth processes start happening almost simultaneously, as seed moisture reaches a critical level within one day and in the following (third) day maximum seed moisture reaches under conditions for the temperature range of 16 - 20 °C. In the case of maintenance the temperature of 13 - 15 °C during the period the critical moisture level is reached in 4 days. In the case of 12 - 11 °C it is reached during 5 days and only at a temperature of 10 °C the start of growth processes possible in 6 days.

Under optimal conditions of soil environment seeds already afoot within 2 days, with a lack of moisture during this period it is extended to 3 days. With decreasing temperature, the accumulation of moisture is also slowing down and may last 3 - 5 days, but on the background of insufficient moisture may reach 7 days.

Keywords: seed, endosperm, moisture, germ, seedling, sprout, growth, emergence.

References

1. Jame Y.W. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat / Y.W. Jame, H.W. Cutforth // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2004. – № 124. – P. 207–218.
2. Ovcharov K.E. Physiology of seed development and seed germination / K.E. Ovcharov. – Moscow: Kolos, 1976. – 255 p.
3. Korovin A.I. The physiological role of low soil temperatures in the lower field germination of seeds / A.I. Korovin // *Agricultural Biology*. 1966. – Vol. 4. – № 2. – P. 61-69.
4. Polovyi A.M. The dynamic model of seed germination and sidling formation of crops / A.M. Polovyi // *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. – 2008. – № 3. – P. 75-85.
5. Antonenko V.S. Dynamic modeling of the growth, development and the productivity formation of a winter wheat / V.S. Antonenko. – K.: “ArtEk”, 2002. – 64 p.
6. Pavlova V.N. Simulation of growth processes during the germination of seeds within the “weather –

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВОЛОГИ НАСІННЯМ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В ПЕРІОД ПОСІВ - СХОДИ

- crop” models / V.N. Pavlova // Proceedings of the VNIICHM. – 1983. – Issue. 8. – P. 28- 36.
7. Forcella F. Modeling seedling emergence / F. Forcella et al. // Field Crops Research. – 2000. – Vol. 67. – P. 123 – 139.
 8. De Jong R. The effect of soil water potential, temperature and seedling depth on seedling emergence of wheat / de Jong R., K.F. Best // Can. J. Soil Sci. 59. – 1979. – P. 259-264.
 9. Sirotenko O.D. Mathematical modeling of hydrothermal regime and productivity of agroecosystems / O.D. Sirotenko. – L.: Gidrometizdat, 1981. – 167 p.
 10. Nosatovsky A.I. Wheat / A.I. Nosatovsky. – Moscow: State Publishing House of Agricultural Literature, 1950. – 408 p.

Поступила в редакцію 22.11.2013 г.