

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОЦЕСС ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

*Предлагается моделирование процессов поглощения влаги семенем, гидролиза запасных веществ, роста зародышевых корней и листков, состояние растений озимой пшеницы на фазу всходов.*

**Ключевые слова:** зерновка, влага, диффузия, гидролиз, рост, температура почвы, влажность почвы, проросток, корни.

Процесс появления всходов из зародыша зерновки, заделанной в почву, очень сложен. Главный побег злака начинает жизнь в фазе проростка в форме зародышевого побега. Прорастанию предшествует набухание, связанное с проникновением воды внутрь зерновки. Предложены различной степени сложности модели для описания этого процесса [3, 8, 9, 12, 14, 15, 16].

**Целью** нашего исследования является моделирование первого периода в жизнедеятельности озимой пшеницы – периода прорастания семян как процесс перехода семян под влиянием агрометеорологических условий из состояния покоя к активной жизнедеятельности – рост колеоптиле, зародышевых корней и формирование всходов.

**Результаты исследования.** Начало возобновления ростовой деятельности в зародыше зерновки начинается при ее набухании. Набухание зерновки может начаться уже при влажности почвы, равной ее удвоенной гигроскопичности [6]. Зародыш и эндосперм зерновки, поглощающие различное количество воды [2], способны набухать при температуре 0–2 °С [7]. При влажности почвы 60 % НВ и при температуре почвы 10–12 °С семена озимой пшеницы прорастают на третий день, а при температуре 3–6 °С – только на 15-й день; температура выше 24 °С неблагоприятна для прорастания семян [5].

Поглощение воды семенем определяется разностью водных потенциалов семени и почвы на глубине заделки семян. Поступление влаги в семена с учетом исследований [10, 11, 13, 14] описывается уравнением

$$\frac{dW_{сем}}{dt} = S_{сем} \cdot P_{сем} \left[ \exp\left(-\frac{E_{сем}}{R_{const} \cdot t_n}\right) \right] \cdot (\Theta_n - \Theta_{сем}), \quad (1)$$

где  $\frac{dW_{сем}}{dt}$  – поток влаги поступающей в семена;  $S_{сем}$  – поглощающая поверхность

семени;  $P_{сем}$  – проницаемость оболочки семени;  $E_{сем}$  – энергия активации диффузии;

$R_{const}$  – газовая постоянная;  $t_n$  – температура почвы на глубине заделки семян;

$\Theta_n$  – водный потенциал почвы;  $\Theta_{сем}$  – водный потенциал семени.

С набуханием семян возрастает интенсивность их дыхания и при достижении некоторого критического уровня оводнённости семени на фоне определенного уровня температуры почвы на глубине заделки семян активизируется деятельность ферментов, которые превращают крахмал и запасные белки эндосперма семени в растворимые соединения. Их количество определяется интенсивностью процессов гидролиза запасных веществ семени, который может быть описан уравнением вида

$$\frac{dm_{сем}^{гидр}}{dt} = K_{сем}^{гидр} \cdot m_{сем} \cdot k_{сем}(t_n), \quad (2)$$

где  $\frac{dm_{сем}^{гидр}}{dt}$  – скорость гидролиза запасных веществ семени;  $K_{сем}^{гидр}$  – коэффициент скорости гидролиза;  $m_{сем}$  – масса семени;  $k_{сем}(t_n)$  – функция влияния температуры почвы на глубину заделки семян на скорость гидролиза запасных веществ семени, которая определена в виде

$$f(t) = \begin{cases} 0,058 + 0,773x_1 - 1,913x_1^2 + 5,4x_1^3 - 3,322x_1^4 & \text{при } t < t_{opt1} \\ 1 & \text{при } t_{opt1} \leq t \leq t_{opt2} \\ -11,47 + 29,87x_2 - 22,83x_2^2 + 5,43x_2^3 & \text{при } t > t_{opt2} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $t$  – температура почвы, °C;

$$x_1 \text{ и } x_2 \text{ – коэффициенты: } x_1 = \frac{t - t_{min}}{t_{opt1} - t_{min}}; \quad x_2 = \frac{t - t_{opt2}}{t_{max} - t_{opt2}},$$

$t_{min}$ ,  $t_{max}$  – минимальные и максимальные значения температуры, при которых начинается и прекращается рассматриваемый процесс жизнедеятельности, °C;

$t_{opt1}$ ,  $t_{opt2}$  – верхняя и нижняя границы температурного оптимума для протекания процесса.

Образующиеся в процессе гидролиза питательные вещества расходуются на дыхание семени и растущих осевых органов (проростка)

$$\frac{dR_{сем}}{dt} = c_m m_{сем} Q_R(t_n), \quad (4)$$

где  $\frac{dR_{сем}}{dt}$  – затраты на дыхание семени;

$c_m$  – коэффициент затрат на дыхание поддержания;

$Q_R(t_n)$  – функция влияния температуры почвы на глубину заделки семян на интенсивность дыхания семени.

Оставшаяся от затрат на дыхание часть питательных веществ составляет резерв для роста зародышевых корней и колеоптиле

$$\frac{dm_{сем}^{рез}}{dt} = \frac{dm_{сем}^{гидр}}{dt} - \frac{dR_{сем}}{dt}, \quad (5)$$

где  $\frac{dm_{сем}^{рез}}{dt}$  – резерв питательных веществ семени.

Питательные вещества эндосперма перемещаются к главному корню зародыша, что вызывает начало растяжения клеток в главном корне зародыша. В результате роста главный корень зародыша, прорвав колеоризу и оболочку семени, углубляется в почву и начинает поглощать влагу и минеральные вещества почвенного раствора. Возобновляется жизнедеятельность в колеоптиле и в почке зародыша – главный побег растения озимой пшеницы продолжает рост в фазе проростка (проросшего семени). Рост зародышевых корней и колеоптиле опишем уравнениями вида:

$$\frac{dm_{col}}{dt} = \gamma_{col} \frac{dm_{сем}^{pez}}{dt} - \frac{dR_{col}}{dt}; \quad (6)$$

$$\frac{dm_{r(з.к.)}}{dt} = (1 - \gamma_{col}) \frac{dm_{сем}^{pez}}{dt} - \frac{dR_{r(з.к.)}}{dt}, \quad (7)$$

где  $\frac{dm_{col}}{dt}$ ,  $\frac{dm_{r(з.к.)}}{dt}$  – скорость распределения резервных питательных веществ семени соответственно в колеоптиле и зародышевые корни;

$\frac{dR_{col}}{dt}$ ,  $\frac{dR_{r(з.к.)}}{dt}$  – затраты на дыхание растущих колеоптиле и зародышевых корней;

$\gamma_{col}$  – функция распределения резервных питательных веществ в колеоптиле.

Будем полагать, что колеоптиле представляет собой круглый прямой конус "шильце" с постоянным радиусом основания и постоянной удельной плотностью растительной массы. Тогда, скорость удлинения колеоптиле можно описать как функцию накопления его массы с учетом механического сопротивления почвы, определяемого плотностью почвы  $\rho_n$  и ее увлажнением

$$\frac{dH_{col}}{dt} = \left( \frac{dm_{col}}{dt} \cdot \frac{1}{\rho_{col}} \right) \frac{3}{\pi r_{col}^2} k_{col}(\rho_n) k_{col}(W_n), \quad (8)$$

где  $\frac{dH_{col}}{dt}$  – скорость роста колеоптиле в длину;

$\rho_{col}$  – удельная плотность растительной массы колеоптиле;

$r_{col}$  – радиус основания колеоптиле;

$k_{col}(\rho_n)$  – функция влияния плотности почвы на рост колеоптиле описывается

формулой вида

$$k_{col}(\rho_n) = 3,725 - 4,465\rho_n + 1,674\rho_n^2 - 0,177\rho_n^3, \quad (9)$$

где  $\rho_n$  – плотность почвы, г·см<sup>-3</sup>;  $k_{col}(W_n)$  – функция влияния влажности верхних слоев почвы на удлинение колеоптиле, которая получена в виде

$$f(W) = 0,020 + 2,602x_6 - 2,593x_6^2 + 0,977x_6^3, \quad (10)$$

где  $x_6 = \frac{W}{W_{opt1}}$ :  $W$  – запасы продуктивной влаги в почве, мм;  $W_{opt1}$  – нижняя граница оптимального увлажнения.

Если длина колеоптиле  $H_{col}$  превысит глубину заделки семян  $H_{з.с.}$ , т.е. наблюдается условие  $H_{col} > H_{з.с.}$ , то это состояние определяется как фаза всходов. Колеоптиле прекращает свой рост, а через его верхушку на дневную поверхность выносятся первый зеленый лист.

Система уравнений (1) – (10) описывает состояние растений на фазу всходов (размеры массы проростка и зародышевых корней).

Наряду с рассмотренными выше, формирование полноты всходов определяется и другими факторами, среди которых важную роль играет также качество посевного материала и варьирование глубины заделки семян в зависимости от микрорельефа почвы. Исходя из этого, нельзя ожидать, что умножение размеров массы проростка и зародышевых корней на норму высева, позволит без погрешности определить

параметры растительного покрова на единицу площади в фазу всходов. Необходимо привлечение дополнительной информации о полевой всхожести семян. Уравнение позволяющее определить эту характеристику имеет вид [4]

$$k_{\text{сем}}^{n.\text{всх.}} = \frac{W_{0-20}}{a + bW_{0-20}}, \quad (11)$$

где  $k_{\text{сем}}^{n.\text{всх.}}$  – коэффициент полевой всхожести семян;

$W_{0-20}$  – влажность почвы в пахотном слое;

$a$  и  $b$  – коэффициенты, определяемые глубиной заделки семян:

$$a = 2,1 + 0,29(H_{\text{з.с.}})^2; \quad (12)$$

$$b = 1,03 - 0,0127(H_{\text{з.с.}})^2. \quad (13)$$

Число растений на единицу площади  $N_{\text{раст}}$  определяем как произведение нормы высева  $N_1$  на коэффициент полевой всхожести семян. Размеры надземной массы и корней растений определяем по соотношениям:

$$m_l = k_{\text{сем}}^{n.\text{всх.}} N_1 \cdot m_{\text{col}}; \quad (14)$$

$$m_r = k_{\text{сем}}^{n.\text{всх.}} N_1 \cdot m_{r(\text{з.к.})}, \quad (15)$$

где  $m_l$  – масса листьев.

При идентификации параметров предложенной нами динамической модели формирования урожая озимой пшеницы [1] реализованы три принципа их определения: декомпозиция модели; разделение параметров в зависимости от их функционального назначения на три группы; использование экспериментальной информации, относящейся к различным по водно-температурным режимам вегетационным периодам.

Идентификация параметров модели проводилась на основе экспериментальных данных автора, полученных в 1979–1992 гг, материалов массовых агрометеорологических наблюдений за культурой озимой пшеницы и агрометеорологическими особенностями ее выращивания в сети агро- и гидрометеорологических станций Украины за 1961–1997 гг., а также литературных источников, относящихся к изучаемой проблеме.

Численные значения параметров модели определялись путем анализа экспериментальных данных, обобщения и осреднения результатов исследований физиологии и экологии растений, использования литературных данных, освещающих физическую сущность изучаемых процессов.

**Выводы.** Таким образом, нами предложена модель прорастания семян озимой пшеницы, позволяющая количественно оценить влияние факторов внешней среды на процесс формирования всходов этой культуры.

Предложено описание процесса поглощения воды семенем, которое определяется разностью водных потенциалов семени и почвы на глубине заделки семян.

Рассматривается, что с набуханием семян возрастает интенсивность их дыхания и при достижении некоторого критического уровня оводненности семени на фоне определенного уровня температуры почвы на глубине заделки семян, активизируются процессы гидролиза запасных веществ семени. Образующиеся в процессе гидролиза питательные вещества расходуются на дыхание семени и растущих осевых органов (проростка). Оставшаяся от затрат на дыхание часть питательных веществ составляет резерв для роста зародышевых корней и колеоптиле. Полагается, что если длина

колеоптиле превысит глубину заделки семян, то это состояние определяется как фаза всходов. Колеоптиле прекращает свой рост, а через его верхушку на дневную поверхность выводится первый зеленый лист. Система уравнений (1) – (15) описывает состояние растений на фазу всходов.

### Список литературы

1. Антоненко В.С. Агрометеорологический мониторинг посевов сельскохозяйственных культур в Украине с применением аэрокосмических методов. – Киев: "АртЭк", 2002. – 307 с.
2. Добрынин Г. М. Рост и формирование хлебных и кормовых злаков. – Л.: Колос, 1969. – 275 с.
3. Долгий–Трач В. А. Динамическая модель формирования всходов зерновых культур //Метеорология и гидрология. – 1988. – № 1. – С. 107–114.
4. Ковтун И. И., Гойса Н. И., Митрофанов Б. А. Оптимизация условий возделывания озимой пшеницы по интенсивной технологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 288 с.
5. Коровин А. И. Биологические основы учета адаптированных реакций растения в динамических моделях формирования урожая //Труды ВНИИСХМ.– 1985.– Вып. 9. – С. 23–28.
6. Кумаков В. А. Физиология яровой пшеницы. – М.: Колос, 1980. – 207с.
7. Куперман Ф. М. Физиология развития, роста и органогенеза пшеницы //Физиология сельскохозяйственных растений. – Изд-во МГУ, 1969. – Т. 4. – С. 7–203.
8. Наумов М. М. Период посев–всходы растений и биологическое время. //Український гідрометеорологічний журнал. – 2006. – № 1. – С. 135 – 140.
9. Немченко О. А., Мусатенко Л. И. Моделирование роста и метаболизма растений на ранних этапах органогенеза //Физиология и биохимия культурных растений. – 1982. – Т. 14. – № 5. – С. 439–445.
10. Павлова В. Н. Моделирование ростовых процессов в период прорастания зерна в рамках моделей "погода–урожай" //Труды ВНИИСХМ. – 1983. – Вып. 8. – С. 28–36.
11. Полевой А. Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
12. Польовий А. М. Динамічна модель проростання насіння та формування сходів зернових культур //Український гідрометеорологічний журнал. – 2008. – № 3. – С. 75 – 85.
13. Слейчер Р. Водный режим растений. – М.: Мир, 1970. – 365 с.
14. Строганова М. А. Математическое моделирование формирования качества урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 151 с.
15. Строганова М. А., Коровин А. И., Полевой А.Н. Динамическая модель расходования запасов эндосперма семян зерновых культур в процессе прорастания и в период до появления всходов //Сельскохозяйственная биология. – 1983. – № 1. – С. 126–135.
16. Строганова М. А., Сунцева Н. А. Динамическая модель роста проростков зерновых культур в период посев–всходы //Труды ВНИИСХМ. – 1983. – Вып. 8. – С. 36–45.

#### **Моделювання впливу агрометеорологічних умов на процес проростання насіння озимої пшениці.**

**Антоненко В.С.**

*Пропонується моделювання процесів поглинання вологи насінням, гідролізу запасних речовин, росту зародкових коренів та листків, стану рослин озимої пшениці на фазу сходів.*

**Ключові слова:** зернівка, волога, дифузія, гідроліз, ріст, температура ґрунту, вологість ґрунту, паросток, корені.

#### **Modelling of influence of agrometeorological conditions on process of seed germination of the winter wheat.**

**Antonenko V.**

*Modelling processes of absorption of a moisture by a seed, hydrolysis of spare substances, growth of germinal roots and leaves, a condition of plants of a winter wheat on a phase of shoots is offered.*

**Key words:** grain, moisture, diffusion, hydrolysis, growth, temperature of ground, soil moisture, a sprout, roots.