

ПЕРИОД ПОСЕВ – ВСХОДЫ РАСТЕНИЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В работе анализируется численный расчет наступления фазы «всходы» ярового ячменя в Киевской области в зависимости от комплекса агрометеорологических факторов. Расчет периода посев-всходы базируется на разложении уравнения логистической кривой в ряд Тейлора. Произведена оценка всех необходимых параметров предложенной модели. Проведен анализ сопоставления фактических и расчетных дат фазы «всходы».

Ключевые слова: биологическое время, фотосинтез, дыхание, логистическая кривая, рост, развитие, продукционный процесс.

Введение. Проблеме описания, расчета и прогнозирования длительности периода посев-всходы растений в зависимости от агрометеорологических факторов уделено достаточно большое количество работ. Это, прежде всего работы Шиголева А.А., Улановой Е.С., Дмитренко В.П., Полевого А.Н., Сиротенко О.Д. и других. В этих исследованиях были определены основные факты зависимости продолжительности периода посев-всходы от агрометеорологических факторов. Исходя из этих исследований можно отметить следующее: 1. рассматривается физическая и биологическая ось времени; все зависимости рассчитаны в биологической оси времени; 2. момент времени посева и момент времени всходов можно рассматривать как два различных события, происходящих в организме растения, по отношению к этим двум временным осям; 3. основное влияние на продолжительность периода посев-всходы оказывают факторы тепла и влаги. Тем самым можно сделать вывод о том, что биологическое время имеет свойство растягиваться и сжиматься в зависимости от напряженности агрометеорологических факторов.

В предыдущей работе [1] было предложено итерационное уравнение для расчета продолжительности периода посев-всходы сельскохозяйственных культур

$$T_{всх} = T_{сем} + \Delta T_{max} \cdot n^j \cdot U_{tw}^j \cdot [-\cos(2\pi \cdot T_{сем}) + 1] + \frac{1}{2} (\Delta T_{max})^2 \cdot (n^j)^2 \cdot (U_{tw}^j)^2 \cdot [2\pi \cdot \sin(2\pi \cdot T_{сем})] \quad (1)$$

где $T_{всх}$ – биологическое время, соответствующее периоду посев-всходы, отн. ед. биол. времени, изменяется от некоторого малого $T_{сем}$ до $T_{квсх}$;

$T_{сем}$ – биологическое время, присутствующее в семенах растений, отн. ед. биол. времени;

$T_{квсх}$ – константа, биологическое время на момент всходов, отн. ед. биол. времени;

ΔT_{max} – максимальное приращение биологического времени при оптимальных значениях факторов внешней среды, соответствующее одним расчетным суткам, отн. ед. биол. времени·сут⁻¹;

n – число прожитых расчетных суток, изменяется нарастающим итогом;

U_{tw} – функция влияния комплекса агрометеорологических факторов на скорость течения биологического времени, отн. ед.;

j – номер расчетных суток периода посев-всходы.

Это уравнение описывает изменение длительности периода посев-всходы в биологической оси времени. Биологические особенности изучаемой культуры учитываются параметром ΔT_{max} , который присущ данной культуре и данному сорту. Например, этот параметр будет отличаться для скороспелых, среднеспелых и позднеспелых сортов данной культуры. Кроме того, учет биологических особенностей культуры осуществляется через уникальные функции влияния факторов внешней среды на процессы развития, то есть через расчет напряженности факторов внешней среды U_{tw} . Переход к физической оси времени осуществляется как подсчет числа итераций, поскольку расчет реализован для суточного шага. Тогда число итераций покажет, сколько суток необходимо для прохождения периода посев-всходы.

Необходимо сказать также и о том, что в уравнении (1) учтены характеристики процессов фотосинтеза и дыхания. В этом уравнении присутствуют два динамических члена, в соответствии с двумя процессами: фотосинтеза и дыхания растений.

Отметим, что функция U_{tw} представляет собой уровень напряженности факторов внешней среды и рассчитывается как среднее за прожитый и текущий момент времени. При этом, функция U_{tw} имеет вид

$$U_{tw}^j = \left\{ 1 - a_t \cdot T_{opt}^2 (t_s^j - 1)^2 \right\} \cdot \left\{ 1 - a_w \cdot W_{opt}^2 (W_s^j - 1)^2 \right\}, \quad (2)$$

где $t_s^j = \frac{t^j}{t_{opt}}$; $W_s^j = \frac{W_{0-20}^j}{W_{opt}}$;

t – текущая температура почвы на глубине заделки семян, °С;

t_{opt} – оптимальная температура почвы для максимальной скорости прохождения периода посев-всходы, °С;

W_{0-20} – запасы продуктивной влаги в почве в верхнем, 20-и см слое, мм;

W_{opt} – оптимальные запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20см, характеризующие максимальную скорость прохождения периода посев-всходы, мм;

a_w – параметр квадратного уравнения влажностной кривой развития, мм⁻².

a_t – параметр квадратного уравнения температурной кривой развития, °С⁻².

Число расчетных суток n в итерационном уравнении (1) увеличивается с каждой итерацией на одну единицу. В первые сутки расчета $n=1$. Во вторые сутки расчета $n=2$. И так далее. Расчет по этому итерационному уравнению останавливается в момент набора величины $T_{квсх}$. Тем самым мы получаем в ответ, сколько расчетных суток необходимо для всего периода посев-всходы при уникальном сочетании факторов внешней среды, складывающиеся в каждые расчетные сутки на протяжении всего периода посев-всходы. Тем самым, целью данной работы является проверка предложенного итерационного уравнения расчета продолжительности периода посев-всходы на основе материалов наблюдений агрометеорологической сети станций на Украине. К задачам данной работы следует отнести оценку необходимых параметров, предложенного метода расчета продолжительности периода посев-всходы на основе разложения логистической кривой в ряд Тейлора.

Материалы и методы исследования. Данные, для проверки предложенного метода расчета продолжительности периода посев-всходы были получены на ст. Мироновка, Киевской области. Чтобы произвести привязку предложенной модели расчета продолжительности периода посев-всходы к данной культуре и данной почвенно-климатической зоне необходимо иметь в наличии ряд наблюдений за фенологией исследуемой культуры в разрезе 8-10 лет как минимум. При этом необходимы наблюдения за всем вегетационным периодом, поскольку фундаментальный параметр ΔT_{max} , определяющий максимальную скорость прохождения периода посев-всходы, используется как тот же самый параметр для расчета продолжительности всего вегетационного периода [2]. Параметр ΔT_{max}

находится как отношение единицы к числу суток всего вегетационного периода, то есть периода посев-созревание. В данной работе исследуется культура ярового ячменя сорта «Одесский 115» и необходимый нам параметр составил значение: $\Delta T_{max} = 0.0289$ отн.ед.биол. времени·сут⁻¹. За исследуемые 8 лет, с 1992 по 1999 годы, минимальная продолжительность периода посев-всходы составила 8 суток и за это время на момент всходов параметр $T_{квсх}$ имеет значение 0.002 отн. ед. биол. времени. Параметр $T_{сем}$ (биологическое время семян) принят нами равным 0.001 отн. ед. биол. времени. Параметры функции U_{tw} составляют значения: $t_{opt}=20$ °C; $W_{opt}=35$ мм в слое почвы 0-20см; $a_t=0.0022$ °C⁻²; $a_w=0.0008$ мм⁻² для условий Киевской области. Таким образом, представлены все параметры для предложенной модели расчета продолжительности периода посев-всходы. Результаты расчета представлены в табл.1.

Результаты исследования и их анализ. Как видно из табл.1, максимальное отклонение расчетной даты от фактической даты составляет 3-е суток. Такой результат вполне приемлем, поскольку точность наблюдений за фенологией культур на сети агрометеорологических станций, согласно «Наставлениям гидрометеорологическим станциям и постам» составляет 2-е суток.

Оценим отклонение расчетной даты фазы «всходы» $\Phi_{расч}$ от фактической даты $\Phi_{факт}$ как среднеквадратическое отклонение σ [3]. При этом, среднеквадратическое отклонение составило значение $\sigma=1.5411$.

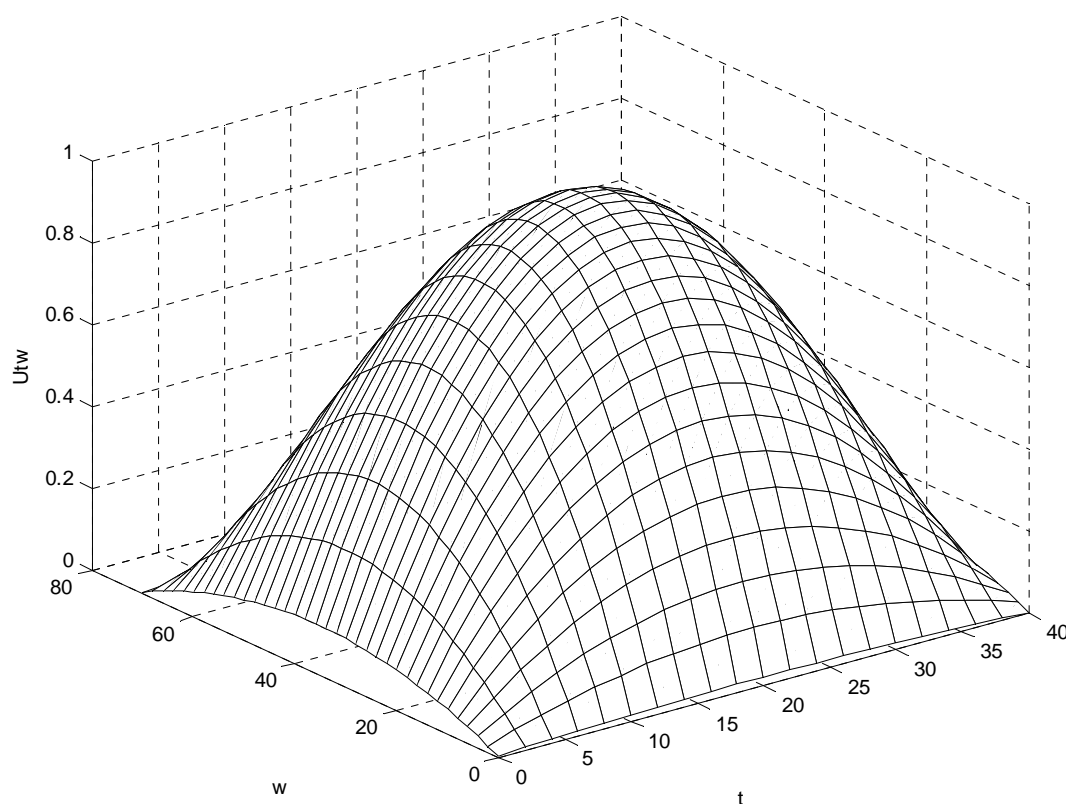
Таблица 1- Сопоставление расчетных и фактических дат наступления фазы «всходы» ярового ячменя сорта «Одесский 115» на ст. Мироновка Киевской области

№ п/п	Год	Фактические данные			Расчетная продолжительность периода посев-всходы	Отклонение расчетной даты от фактической
		Дата посева	Дата всходов	Продолжительность периода посев-всходы		
1	1992	13.04	26.04	13	12	-1
2	1993	22.04	2.05	10	10	0
3	1994	6.04	14.04	8	10	+2
4	1995	14.04	24.04	10	10	0
5	1996	26.04	4.05	8	9	+1
6	1997	4.04	20.04	16	16	0
7	1998	20.04	28.04	8	10	+2
8	1999	3.04	16.04	13	10	-3
Среднее		13.04	24.04	10.75	10.87	+0.125

Следует отметить, что среднеквадратическое отклонение σ для исследуемых случаев наблюдений (всего 8 годо-случаев) составляет значение меньше, чем 2-е суток. Это говорит о том, что 2/3 всех расчетных случаев меньше чем 2-е суток, согласно нормальному распределению [3]. Конечно, для более полной проверки предложенного метода необходим более длительный ряд наблюдений. В тоже время на основании такой проверки можно заключить, что метод в целом себя оправдал. Точность расчетов достаточно высокая и согласуется с точностью наблюдений на реальном сельскохозяйственном поле за фенологией культур.

Проверив данный метод расчета продолжительности периода посев-всходы, мы можем перейти к исследованию данного метода в численных экспериментах. Прежде

всего, графически изобразим функцию напряженности факторов внешней среды U_{tw} для культуры ярового ячменя сорта «Одесский 115», рис.1.



t – температура почвы на глубине заделки семян, °С; w – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20см, мм; U_{tw} – уровень напряженности факторов внешней среды, отн. ед.

Рисунок 1 – Уровень напряженности факторов тепла и влаги, присущие культуре ярового ячменя в условиях Киевской области. Оптимальная температура на глубине заделки семян составляет 20 °С. Оптимальные запасы продуктивной влаги слоя почвы 0-20см составляют 35мм.

Как видно из рис.1, мы охватили всю область толерантности культуры ярового ячменя. При этом учтены температуры ниже привычного биологического минимума развития культуры, составляющего 5°С. Кроме того, при температурах выше оптимальных будет происходить замедление скорости развития культуры, согласно исследованиям Л.Н. Бабушкина, проведенных в условиях Узбекистана [4]. Такой же отклик наблюдается для фактора влаги.

Исследуем так же, как влияют различные сочетания температуры и влажности почвы на длительность периода посев-всходы культуры ярового ячменя. Для этого численного эксперимента мы задавали температуры на глубине заделки семян 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 °С и запасы влаги 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 мм в слое почвы 0-20 см. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Влияние различных сочетаний факторов тепла t (температура на глубине заделки семян) и влаги w (запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20см) на длительность периода посев-всходы ярового ячменя сорта «Одесский 115» в условиях Киевской области

$w \backslash t$	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C
5 мм	52	35	29	28	29	35	55	∞^*
10 мм	30	20	17	16	17	20	32	∞
15 мм	23	15	13	12	13	15	23	∞
20 мм	19	13	11	10	11	13	19	∞
25 мм	17	11	9	9	9	11	17	∞
30 мм	16	11	9	8	9	11	16	∞
35 мм	16	10	9	8	9	10	16	∞
40 мм	16	11	9	8	9	11	16	∞
45 мм	17	11	9	9	9	11	17	∞
50 мм	19	13	11	10	11	13	20	∞
55 мм	23	15	13	12	13	15	24	∞
60 мм	31	20	17	16	17	21	32	∞

* Примечание: ∞ - растения погибли.

Из данных, полученных в табл. 2, становится ясно, что при сочетаниях запасов влаги W_{0-20} в 5-10мм и температуры в 5°C период посев-всходы сильно затягивается (52-ое суток). Такая ситуация в условиях Киевской области практически невозможна. Посев ярового ячменя производится весной, после того как в течение предшествующего осенне-зимнего периода формировалась продуктивная влага в почве. Поэтому запасы влаги в 5-10мм на весну в условиях Киевской области практически невозможны. Запасы влаги в слое 0-20см в размере 5-10мм характеризуют сильную засуху. Так же практически невозможна ситуация с температурами в 35°C в период сева ярового ячменя (длительность периода посев-всходы составляет 55 суток). Такое сочетание значений факторов тепла и влаги будут характеризовать гибель ярового ячменя. Она наступит в результате того, что питательные запасы семени за такой длительный период времени просто истощатся. Отметим так же и то, что обычно на весну в период сева сельскохозяйственных культур запасы продуктивной влаги в почве имеют значения близкие к оптимальным запасам. И только в аномальные годы эти значения продуктивной влаги могут отличаться. В то же время, учет фактора влаги при расчете наступления даты фазы «всходы» является обязательным.

Таблицей 2 можно пользоваться для расчета длительности периода посев-всходы ярового ячменя по средним данным о температуре и запасах влаги за этот период. В тоже время следует отметить, что модель отличается от реального объекта исследований на вектор отклонений. Согласно подходу В.М. Глушкова [5] «модель – это система, отражающая другую систему». При таком подходе, характеризуя объект исследования и его модель, вводится вектор состояний X исследуемого объекта. Вектор состояний X может принимать реальные значения $X_{\text{реал}}$ и модельные значения $X_{\text{модель}}$. Тогда вектор реальных значений $X_{\text{реал}}$ будет отличаться от вектора модельных значений $X_{\text{модель}}$ на некоторую векторную величину $D_{\text{откл}}$

$$|X_{\text{модель}} - X_{\text{реал}}| = D_{\text{откл}} \quad (3)$$

Вектор $D_{\text{откл}}$ определяет отличие объекта исследования от его модели по моделируемым состояниям. При таком подходе является целесообразным выбирать вектор состояний модельных значений $X_{\text{модель}}$, дающий минимальную величину

вектора отклонений $D_{\text{откл}}$. Поэтому следует учитывать такие отклонения реального объекта от его модели. В нашем случае мы проверяли модель на основании данных реальных наблюдений за фенологией ярового ячменя в условиях ст. Мироновка Киевской Области (табл. 1). Поэтому вектор отклонений $D_{\text{откл}}$ для нашего случая будет иметь размерность 1, поскольку мы сравнивали расчетные и фактические даты наступления фазы «всходы». При этом, критерием оценки ошибки отклонений было выбрано среднеквадратическое отклонение σ . Таким образом, адекватность предложенной модели оценивалась на основании среднеквадратического отклонения σ . При этом, число случаев наблюдений интегрированы в один показатель σ . Как отмечает В.М. Глушков [5] «основным этапом является не столько создание модели объекта, сколько доказательство её адекватности». Это говорит о том, что проверка адекватности модели является самостоятельной задачей исследования. Для нашего случая мы не исчерпали все возможности вектора $D_{\text{откл}}$, поскольку постановка детального эксперимента требует проведения многофакторных экспериментальных наблюдений за сельскохозяйственными культурами, где будут определены такие параметры как: биологическое время семян, оптимальные температуры и оптимальные запасы продуктивной влаги в почве для процессов развития сельскохозяйственных культур и другие параметры. Кроме того, требует уточнения сами функции влияния температуры почвы и влажности почвы на процессы развития растений в период посев-всходы. В то же время основным критерием проверки модели является критерий сравнения фактических и расчетных дат наступления фазы «всходы». Поэтому, на основании такой проверки, мы можем заключить о том, что модель достаточно адекватно описывает реальный объект исследования: межфазный период посев-всходы.

Выводы:

1. Первая проверка предложенного метода итерационного расчета продолжительности периода посев-всходы дала положительный результат. Максимальное отклонение расчетной даты фазы «всходы» от фактической даты, за исследуемые 8 лет, составляет 3-е суток.
2. За исследуемые 8 лет в среднем фактическая длительность периода посев-всходы составила 10.75 суток, а расчетная – 10.87 суток.
3. Среднеквадратическое отклонение расчетных значений даты фазы «всходы» от фактических имеет значение $\sigma=1.5411$ суток, что меньше точности наблюдений за фенологией культур, принятых на гидрометеорологических станциях и постах (2-е суток).
4. В предложенной итерационной модели периода посев-всходы учтен весь комплекс агрометеорологических факторов, влияющих на скорость развития во всей области толерантности.
5. Проведены исследования предложенного метода расчета длительности периода посев-всходы в численных экспериментах. Предложена таблица значений длительности этого периода в зависимости от температуры почвы на глубине заделки семян и от запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см, которая может быть использована для приближенного расчета длительности этого периода по средним данным за этот период.
6. Предложенный итерационный расчет продолжительности периода посев-всходы сельскохозяйственных культур легко может быть реализован в динамических моделях продукционного процесса растений.

Список литературы

1. Наумов М.М. Период посев-всходы растений и биологическое время. // Український гідрометеорологічний журнал, -2006, № 1, С. 135-139.
2. Наумов М.М. Рост растений и биологическое время. // Вісник Одеського державного екологічного університету. -2005, Вип. 1, С. 72-78.
3. Уланова Е.С., Сиротенко О.Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. – Ленинград, Гидрометеоиздат, -1968, -198 С.
4. Бабушкин Л.Н. Оценка влияния погоды на скорость развития хлопчатника и других сельскохозяйственных культур и методы прогнозов наступления основных фаз развития их в условиях Узбекистана. Методические указания ЦИПа, -1951, Вып.16, -47 С.
5. Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М. Моделирование развивающихся систем. –М., Наука, -1983, -350 С.

Період посів-сходи рослин і біологічний час. Результати розрахунків. Наумов М.М.

В роботі аналізується чисельний розрахунок настання фази «сходи» ярового ячменю в Київській області залежно від комплексу агрометеорологічних чинників. Розрахунок періоду посів-сходи базується на розкладанні рівняння логістичної кривої в ряд Тейлора. Була проведена оцінка всіх необхідних параметрів запропонованої моделі. Був проведений аналіз зіставлення фактичних і розрахункових дат фази «сходи».

Ключові слова: біологічний час, фотосинтез, дихання, логістична крива, зростання, розвиток, продукційний процес.

Period sowing-shoots of plants and biological time. Results of computations. Naumov M.M.

In work numeral computation of offensive of phase is analysed «shoots» of spring barley in the Kiev region depending on the complex of agrometeorological factors. Computation of period sowing-shoots is based on decomposition of equalization of logistic curve in the row of Taylor's series. Estimation of all necessary parameters of the offered model is produced. The analysis of comparison of actual and computation dates of phase is conducted «shoots».

Keywords: biological time, photosynthesis, respiration, logistic curve, growth, development, productional process.