

МОДЕЛЬ РОСТА ОБЩЕЙ БИОМАССЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ПОСТРОЕННАЯ НА ОСНОВЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

Предложена длиннопериодная динамическая модель роста общей сухой биомассы сельскохозяйственных культур, в основе которой лежит уравнение логистической кривой, основанное на предположении о колебательных процессах биологического времени растений в онтогенезе. Период колебаний биологического времени и амплитуда колебаний целиком и полностью определяются напряженностью факторов внешней среды. Проведено исследование модели и получена положительная оценка её адекватности реальному объекту исследований. Объяснен факт параболической зависимости роста биомассы от состояния напряженности факторов внешней среды. Дано дифференциальное уравнение колебаний биологического времени в онтогенезе растений.

Ключевые слова: биологическое время, рост, развитие, подсолнечник, факторы среды, колебания, логистическая кривая, продуктивность.

Введение. В работах автора [1, 2], на основе предположения о процессе циркуляции биологического времени в онтогенезе растения по замкнутой кривой, получена логистическая кривая роста общей сухой биомассы следующего вида

$$\mu = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \sin(2 \cdot \pi \cdot T) + T, \quad (1)$$

где μ – нормированная общая сухая биомасса растения, отн. ед.;

T – нормированное биологическое время растения, отн. ед.

Процесс нормировки заключается в том, что мы берем конечные значения переменных μ и T и затем каждое текущее значение этих переменных, наблюдающихся в онтогенезе, делим на соответствующие конечные значения. Тогда нормированные переменные общей сухой биомассы и биологического времени будут изменяться в онтогенезе от 0 до 1. В этом смысле мы получим устойчивые составляющие этих переменных, которые характеризуют рост растения.

Дифференциальная форма этого уравнения имеет вид

$$\frac{d\mu}{dT} = -\cos(2 \cdot \pi \cdot T) + 1, \quad (2)$$

и характеризует устойчивую составляющую скорости роста общей сухой биомассы растения. Кроме скорости роста рассматривают так же и вторую производную кривой накопления общей биомассы растения [3]. В нашем случае устойчивая составляющая второй производной будет иметь вид

$$\frac{d^2\mu}{dT^2} = 2 \cdot \pi \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot T), \quad (3)$$

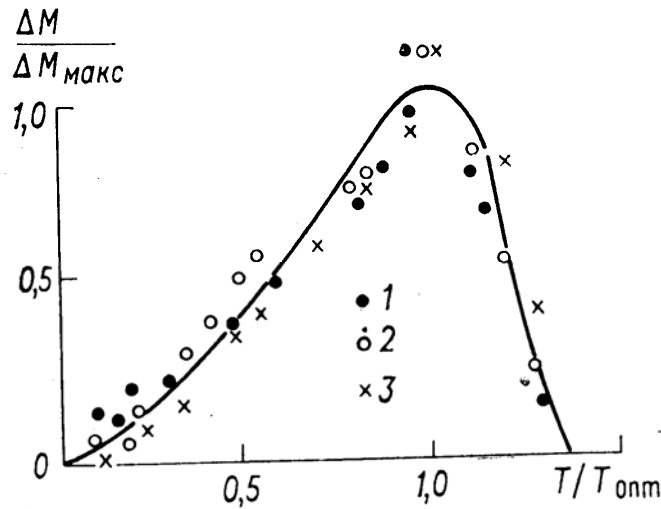
где все эти три уравнения выражают колебательный характер движения устойчивой составляющей роста

$$\frac{d^2\mu}{dT^2} + 4\pi^2 \cdot \mu = 4\pi^2 \cdot T.$$

Первой целью данной работы является использование уравнения устойчивой составляющей роста общей сухой биомассы растений для построения динамической модели роста общей биомассы в зависимости от состояния факторов внешней среды. **Вторая преследуемая цель** - получение данных, подтверждающих колебательный процесс биологического времени в онтогенезе растений.

Объекты и выходные материалы исследования. В качестве объектов исследования мы рассматриваем движения биологического времени растений и моделируемой общей сухой биомассы в зависимости от напряженности факторов внешней среды: света, тепла, влаги на примере роста подсолнечника.

Материалы и методы исследования. Известно [4, 5], что факторы внешней среды в своем прямом действии влияют не на величину общей биомассы, а на величину скорости роста этой биомассы. Так, по данным А.Р. Константинова [6], приросты растительной массы различных культур описываются некоторой параболой, рис. 1.



1 – томаты; 2 – картофель; 3 – огурцы.

Рис. 1 – Влияние относительной температуры воздуха (ось абсцисс) на относительную величину приростов растительной массы (ось ординат).

Поэтому, в качестве опорного уравнения мы возьмем уравнение (2), характеризующее устойчивую составляющую скорости роста общей биомассы растений и введем в это уравнение влияние факторов внешней среды на процесс роста, а так же константу, характеризующую максимальную скорость роста в оптимальных условиях среды

$$\frac{dM}{dT} = DM_{\max} \cdot U_{sr} \cdot [-\cos(2 \cdot \pi \cdot T) + 1], \quad (4)$$

где $\frac{dM}{dT}$ – реальная скорость роста общей сухой биомассы растения, наблюдающаяся в течение онтогенеза, за период времени T от 0 до 1, $\Gamma_{\text{с.в.}} \cdot \text{сут}^{-1} \cdot \text{растение}^{-1}$;

DM_{\max} – максимальная скорость роста в оптимальных условиях среды, $\Gamma_{\text{с.в.}} \cdot \text{сут}^{-1} \cdot \text{растение}^{-1}$;

U_{sr} – уровень напряженности факторов внешней среды, отн. ед;

Весь период времени онтогенеза T рассчитывается по уравнениям [7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} dT = U_{sr} \cdot dT_{\max} \cdot dt, \quad \text{если } T_0 < T \leq 0.5 \\ dT = \frac{1}{U_{sr}} dT_{\max} \cdot dt, \quad \text{если } 0.5 < T \leq 1 \end{array} \right., \quad (5)$$

где dT – дифференциал биологического времени в реальных условиях внешней среды, отн. ед.;

dT_{max} – дифференциал биологического времени в оптимальных условиях внешней среды, отн. ед.;

dt – дифференциал физического времени, сут.;

T_0 – начальное значение оси биологического времени, отн. ед.

Теперь необходимо определить напряженность факторов внешней среды по следующим составляющим: фактор света, фактор тепла, фактор влаги. Для этого мы будем использовать следующие нормированные уравнения [5, 8, 9]:

$$I = 1 - \exp(-C \cdot I_{opt} \cdot I_n) \quad \text{- фактор света,} \quad (6)$$

$$\psi = 1 - a_t \cdot t_{opt}^2 (t_n - 1)^2 \quad \text{- фактор тепла,} \quad (7)$$

$$\gamma = 1 - a_w \cdot W_{opt}^2 \cdot (W_n - 1)^2 \quad \text{- фактор влаги,} \quad (8)$$

где I_n , t_n , W_n – нормированные значения потока ФАР, температуры воздуха, запасов продуктивной влаги в почве, отн. ед.;

I_{opt} , t_{opt} , W_{opt} – соответственно оптимальные значения потока ФАР ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$), температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$), запасов продуктивной влаги в почве (мм) для величины скорости накопления биомассы либо для общего газообмена культуры;

C , a_t , a_w – параметры уравнений: определяют биологические особенности отклика скорости роста биомассы на влияние факторов внешней среды. Эти параметры определяют степень изгиба кривых (6), (7) и (8), то есть выражают особенности культуры наряду с оптимальными значениями факторов внешней среды.

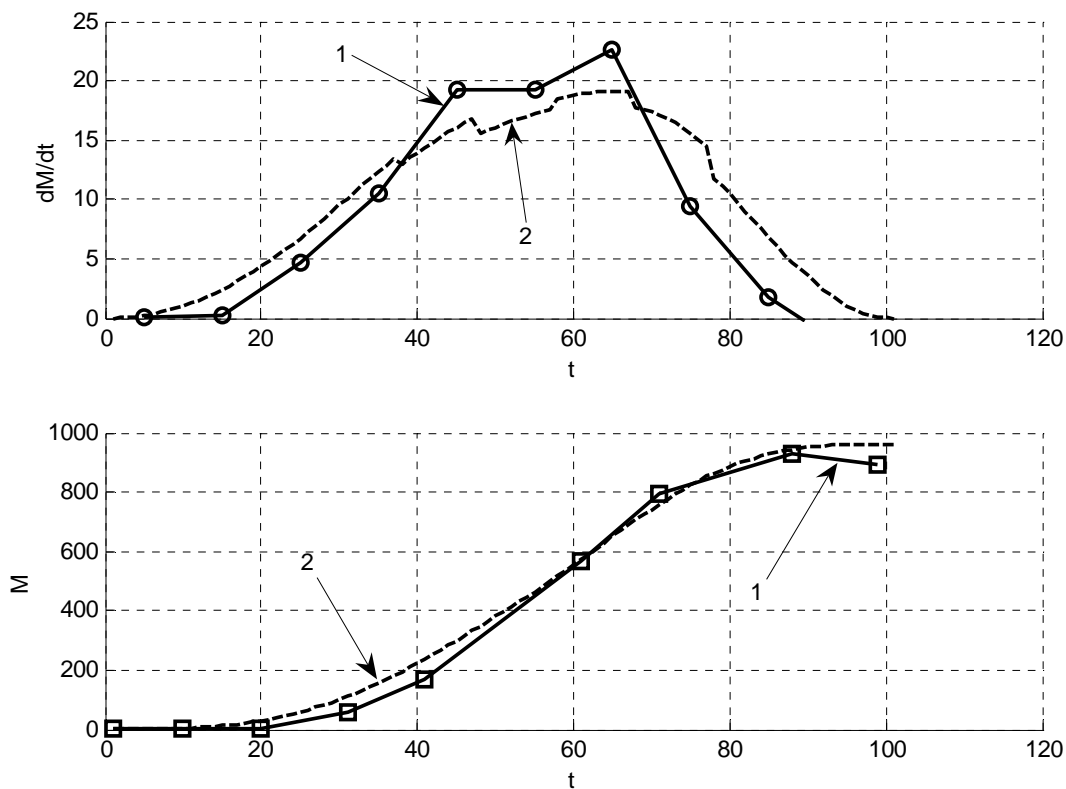
С учетом уравнений (6, 7, 8), а так же фундаментального принципа Либиха напряженность факторов внешней среды определится из уравнения

$$U_{sr} = I \cdot \psi \cdot \gamma. \quad (9)$$

Таким образом, мы получили замкнутую систему уравнений по отношению к расчету биологической оси времени и скорости роста общей биомассы. Такое построение связей обеспечивает учет влияния напряженности факторов внешней среды U_{sr} как на процессы газообмена (роста биомассы), так и на скорость развития. В дальнейшем уравнения (4) и (5) интегрируются с некоторым подходящим шагом интегрирования. Для целей агрометеорологии и, как в перспективе, агрометеорологической оценки условий произрастания культуры и прогноза урожая общей биомассы целесообразно выбирать шаг интегрирования порядка одних суток. Кроме того, следует отметить, что существует суточный цикл процесса фотосинтеза, в результате которого накапливается биомасса растения: различают световую и темновую стадию фотосинтеза. Отметим так же и то, что полученные связи обеспечивают изменение амплитуды онтогенетических колебаний биомассы (4) и периода колебаний (5) в зависимости от одних и тех же функций влияния факторов внешней среды.

Результаты исследования и их анализ. Для подтверждения правильности построения предложенной динамической модели роста общей биомассы сельскохозяйственных культур, мы провели расчеты и, сопоставили полученные данные с реальными наблюдениями за ростом культуры подсолнечника в условиях юга Украины, рис. 2. Как видно из представленных данных на рис. 2 мы получили удовлетворительное соответствие реальных и расчетных данных о скорости роста и величине накопления общей сухой биомассы подсолнечника. В то же время, как видно на верхней части рисунка, скорость роста общей биомассы в численных расчетах на ПЭВМ во вторую часть онтогенеза заметно превышает наблюдаемые значения в полевом эксперименте 1986 года. Тем самым, мы можем отметить, что во вторую часть

онтогенеза у подсолнечника меняются требования культуры к факторам внешней среды. То есть, очевидно, во вторую часть онтогенеза, после цветения, оптимальные значения факторов внешней среды повышаются. Тем самым, процесс цветения вызывает сдвиг требований к состоянию факторов внешней среды в более жесткую сторону. Таким образом, проведенные расчеты позволяют заключить о том, что требования к состоянию факторов внешней среды на протяжении онтогенеза подсолнечника меняются и не остаются постоянными. Скорее всего, такой сдвиг к требованиям внешней среды вызывает сам процесс цветения, как центральный процесс в жизни растения, когда в материнском организме появляются оплодотворенные семена, и, когда после прохождения процесса цветения в растении доминируют процессы старения организма.



1 – по данным наблюдений полевого эксперимента в 1986 году (Украина, Одесса, Черноморка);
2 – численный расчет на ПЭВМ.

Рис. 2 – Реальная скорость роста общей сухой биомассы одного растения подсолнечника dM/dt ($\text{г}_{\text{с.в.}} \cdot \text{раст}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$) и накопление общей сухой биомассы одного растения подсолнечника M ($\text{г}_{\text{с.в.}} \cdot \text{раст}^{-1}$) в реальном времени онтогенеза t (от всходов до полного созревания).

Теперь проведем оценку влияющих факторов среды на процессы роста биомассы культуры подсолнечника, характеризующие биологические особенности этой культуры. Для этого был проведен численный эксперимент, и были построены зависимости отклика приростов биомассы в зависимости от состояния факторов света, тепла, влаги, рис. 3, 4. Как видно из представленных данных, мы в качестве отклика культуры подсолнечника на состояние напряженности факторов внешней среды имеем выпуклые функции со своей точкой максимума. Эта точка полностью характеризуется оптимальными значениями факторов внешней среды: оптимум температуры воздуха составляет 25°C , оптимум запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы для

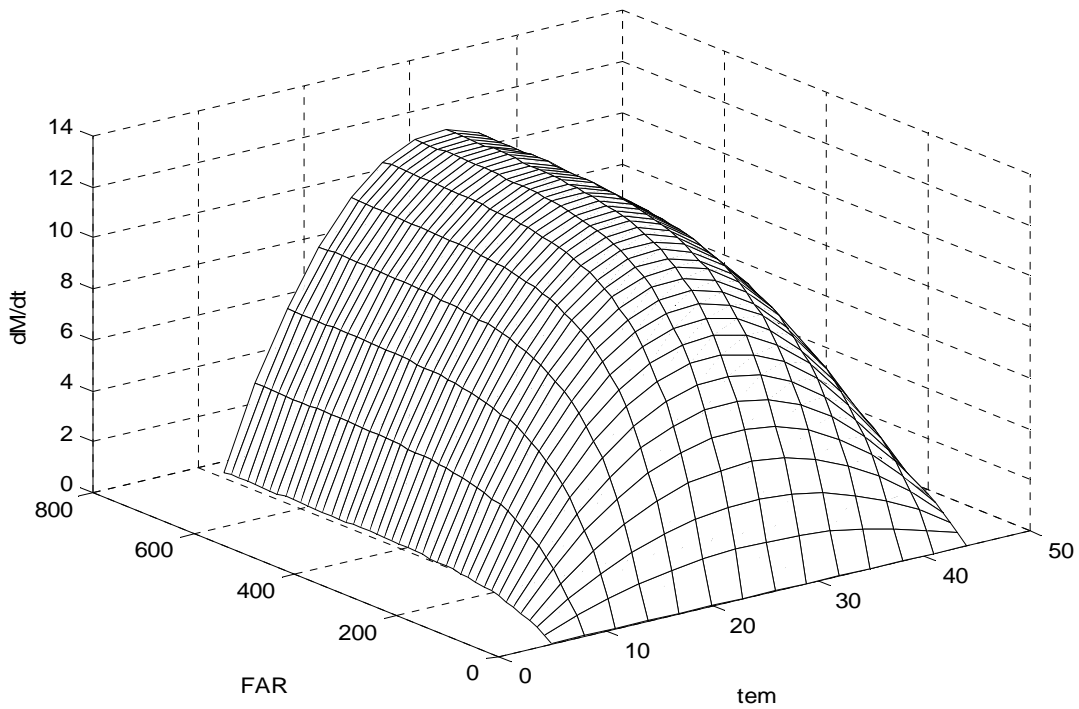


Рис. 3 – Сочетание влияния температуры воздуха tem ($^{\circ}C$) и приходящей фотосинтетически активной радиации FAR ($Вт \cdot м^{-2}$) на величину приростов общей сухой биомассы одного растения подсолнечника в период максимальных приростов этой биомассы dM/dt ($г_{с.в.} \cdot раст^{-1} \cdot сут^{-1}$).

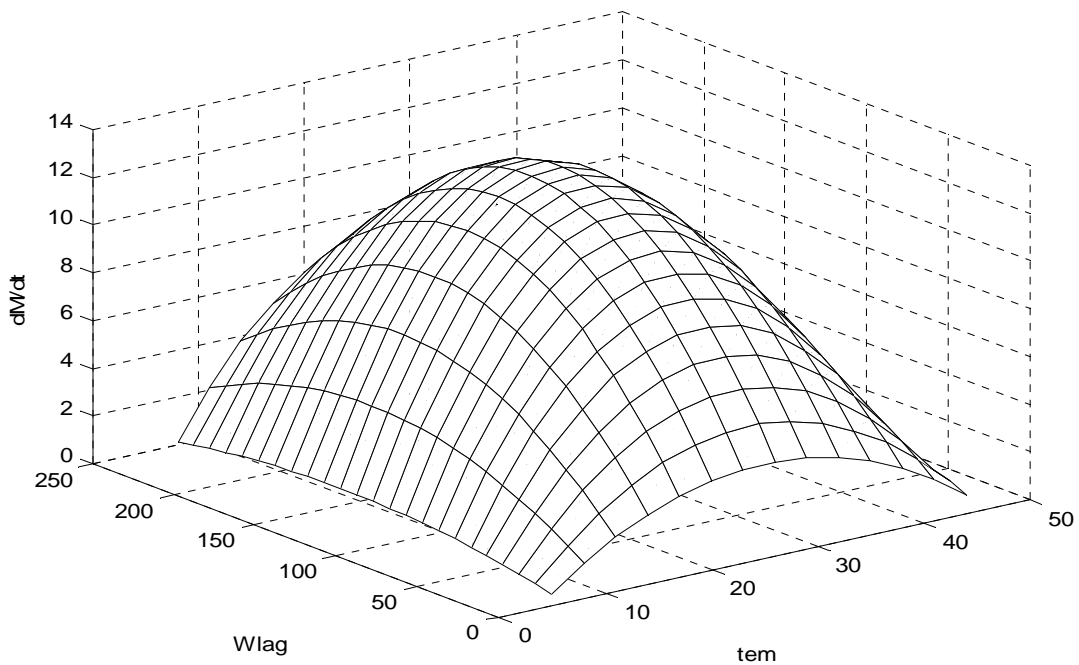


Рис. 4 – Сочетание влияния температуры воздуха tem ($^{\circ}C$) и запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы $Wlag$ ($мм$) на величину приростов общей сухой биомассы одного растения подсолнечника в период максимальных приростов этой биомассы dM/dt ($г_{с.в.} \cdot раст^{-1} \cdot сут^{-1}$).

условий произрастания подсолнечника в условиях Одесской области составляет 131.9 мм, оптимум ФАР составляет 650 Вт·м⁻².

Отклик приростов биомассы (газообмена), представленные на рис. 3, 4, так же целиком и полностью характеризуют условия скорости развития культуры подсолнечника. Так скорость течения биологического времени, выраженная через дифференциал dT (5), имеет свою максимальную скорость изменения. В то же время, при превышении оптимальных значений факторов внешней среды, темпы развития культуры подсолнечника будут замедляться в первую часть онтогенеза [10], а во вторую часть онтогенеза – будут ускоряться. Таким образом, существует своя максимальная скорость развития культуры dT_{max} наряду с максимальной величиной приростов общей биомассы DM_{max} . Тогда, исходя из структуры модели, определения интеграла и величины конечной биомассы M , можно образовать константу, характеризующую потенциальный характер роста и развития той либо иной культуры

$$dS_{max} = DM_{max} dT_{max} \cdot \quad (10)$$

При таком подходе, если факторы внешней среды отклоняются от своих оптимальных значений, рис. 3, 4, мы, будем иметь функцию dS в зависимости от состояния факторов внешней среды, и в итоге условия характера адаптации культуры к условиям внешней среды, запишутся в виде

$$dS \Rightarrow dS_{max} \cdot \quad (11)$$

В целом, формула (10) выражает некоторую площадь в пространстве массы и времени, а вместе с условием (11) эта площадь в данных условиях среды стремится занять положение максимально возможного размера. Такой подход ассоциируется с ассимиляционной поверхностью культуры, которая в данных условиях среды занимает положение максимально возможной поверхности и в своей архитектонике стремится занять положение, способное в максимальной мере поглощать поток ФАР.

Теперь, убедившись в адекватности модели и в соответствии её основных функций реальному объекту исследования – культуре подсолнечника, проведем численные эксперименты на ПЭВМ и сделаем некоторые оценки модели по отношению к различным вариантам внешней среды, влияющих на рост и развитие подсолнечника. Для этого мы воспользуемся данными гидрометеорологической сети станций, расположенных в Одесской области и будем оценивать различные сочетания факторов света, тепла и влаги. В качестве опорного сценария агрометеорологических условий внешней среды мы воспользуемся среднесезонными данными по факторам света, тепла и влаги по Одесской области как области где в значительной мере распространено выращивание подсолнечника, табл. 1. Сценарий 1 соответствует нормальным условиям внешней среды для произрастания подсолнечника. Как видно из табл. 1, температура воздуха в условиях Одесской области чуть ниже оптимальных значений для культуры подсолнечника. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы так же близки к оптимальным значениям. Уровень фактора света соответствует высоким значениям, как светолюбивой культуре подсолнечника. Для сценария 2 принято, что фактор света остается на прежнем уровне. Во втором сценарии температура воздуха значительно выше её оптимальных значений и повышается до уровня 31 – 33 °С. Запасы продуктивной влаги во втором сценарии снижены, как для культуры считающейся засухоустойчивой, до уровня 30-60% от их оптимальных значений. В третьем сценарии считается, что запасы влаги в течении зимнего периода не пополнялись и остались на уровне 30-60% от оптимальных запасов. В то же время, в третьем сценарии считается, что температура воздуха значительно снижена до уровня выживания культуры, то есть до 10-13 °С, что является критическим уровнем для процесса цветения подсолнечника.

Теперь рассмотрим результаты численных экспериментов.

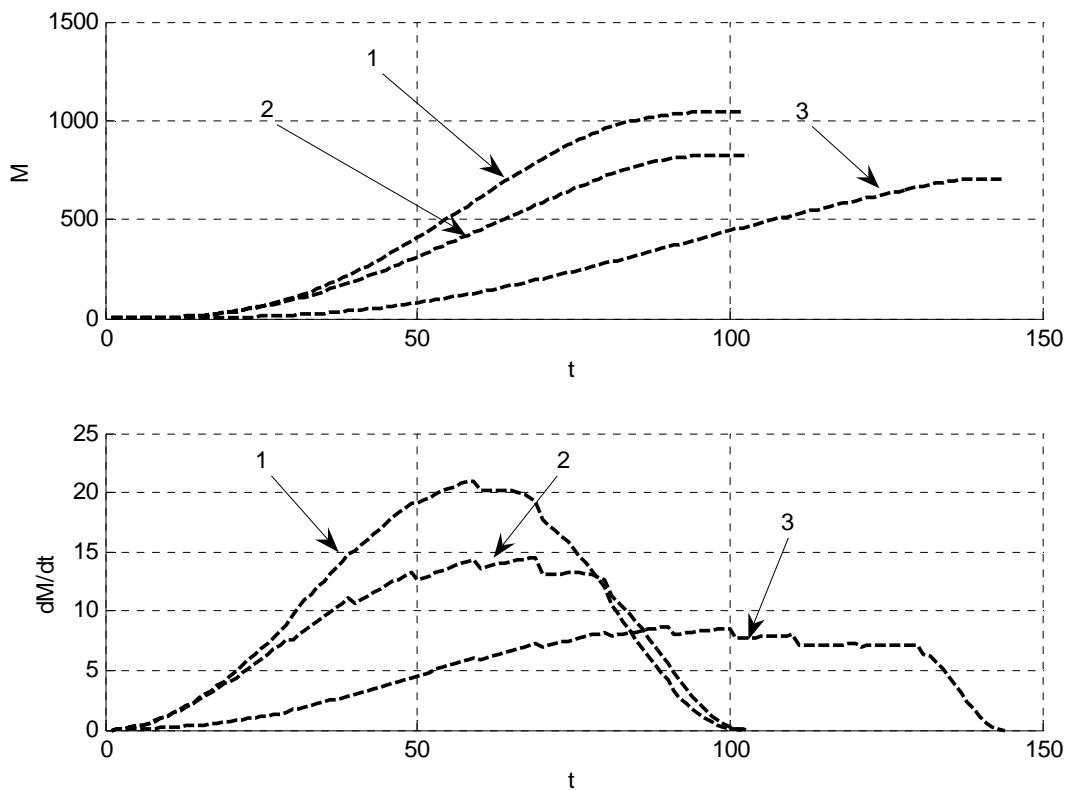
Таблица 1 - Сценарии проведения численного эксперимента на ПЭВМ с моделью роста и развития культуры подсолнечника

Номер декады от всходов	Среднегодовое значения Одесская область Сценарий 1			Сценарий 2			Сценарий 3		
	Норма			Жарко+сухо			Холодно+сухо		
	<i>SS</i>	<i>tem</i>	<i>Wlag</i>	<i>SS</i>	<i>tem</i>	<i>Wlag</i>	<i>SS</i>	<i>tem</i>	<i>Wlag</i>
1	8.4	16.3	112	8.4	24.5	67	8.4	9.8	67
2	9.0	17.1	108	9.0	25.7	65	9.0	10.2	65
3	9.0	18.0	100	9.0	27.0	60	9.0	10.8	60
4	9.5	19.8	96	9.5	29.7	58	9.5	11.9	58
5	9.3	20.7	88	9.3	31.1	53	9.3	12.4	53
6	9.9	21.4	80	9.9	32.1	48	9.9	12.8	48
7	10.6	21.5	70	10.6	32.3	42	10.6	12.9	42
8	10.4	22.0	59	10.4	33.0	35	10.4	13.2	35
9	9.8	22.3	51	9.8	33.5	31	9.8	13.4	31
10	9.2	21.3	46	9.2	32.0	28	9.2	12.8	28
11	8.6	19.6	44	8.6	29.4	26	8.6	11.8	26
12	-	-	-	-	-	-	-	11.4	21
13	-	-	-	-	-	-	-	11.2	21
14	-	-	-	-	-	-	-	11.0	18
15	-	-	-	-	-	-	-	10.7	18

Примечание: *SS* – число часов солнечного сияния в сутки, час; *tem* – температура воздуха, °C; *Wlag* – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм.

Как видно из представленных данных численного эксперимента на рис. 5, повышение температуры в сочетании с засушливыми условиями обеспечивают нормальный рост и развитие культуры подсолнечника (сценарий 2), хотя как и следовало ожидать, со снижением величины общей сухой биомассы до 50-60 % от среднегодовое нормы. В то же время, в процессе развития культуры, по сценарию 2, можно отметить незначительное увеличение всего вегетационного периода на 2-е -3-е суток. Условия внешней среды, по сценарию 2, когда температура воздуха значительно повышена по сравнению с требованиями культуры к оптимальной её величине, и сухие условия увлажнения почвы, позволяют подсолнечнику в условиях Одесской области образовывать некоторый, хотя и сниженный, урожай общей биомассы и как следствие урожай семян. В целом, согласно полученным данным, при высоких температурах и сухих условиях увлажнения, можно ожидать снижение урожая в 1,5 – 2 раза.

Результаты численного эксперимента по сценарию 3, когда температура воздуха значительно снижена, в сочетании с сухими условиями увлажнения, обеспечивают значительное снижение как скорости роста общей сухой биомассы культуры, так и значительное увеличение вегетационного периода до 145 суток. Если в среднем многолетнем для нормального роста и развития культуры необходимо до 103 суток от всходов, то значение в 145 суток говорит о том, что в условиях Одесской области вегетация культуры при таких условиях просто невозможна. По сценарию 3, при холодных и сухих условиях роста и развития скорость роста общей сухой биомассы подсолнечника снижается по сравнению со среднегодовое условиями в 2-2.5 раза.



1 – сценарий 1; 2 – сценарий 2; 3 – сценарий 3.

Рис. 5 – Результаты моделирования роста и развития культуры подсолнечника для трех сценариев (табл. 1): M – накопление общей сухой биомассы одного растения подсолнечника в онтогенезе, $\Gamma_{с.в.} \cdot \text{раст}^{-1}$; dM/dt – скорость роста общей биомассы одного растения подсолнечника в онтогенезе, $\Gamma_{с.в.} \cdot \text{раст}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$; t – число дней от всходов.

К тому же вегетационный период значительно увеличивается: в 1.5 раза. Если три летних месяца в условиях Одесской области обеспечивают получение урожая подсолнечника, то увеличение вегетационного периода до 145 суток в холодных условиях среды говорят о том, что значительно сниженный урожай может быть получен в октябре, что невозможно. Следовательно, исходя из численных экспериментов с динамической моделью роста и развития общей биомассы культуры подсолнечника, можно заключить, что культура подсолнечника выдерживает значительное повышение температуры воздуха, что бывает в некоторые периоды её роста и развития в условиях Одесской области, когда температура воздуха в дневные часы повышается до 35-40 °С. Кроме того, исходя из результатов численного эксперимента, можно отметить, что построенная модель соответствует культуре подсолнечника как культуре засухоустойчивой и жаростойкой, способной даже в напряженных условиях увлажнения получать, хотя и сниженные, урожаи. В то же время, численные эксперименты убедительно показали, что подсолнечник это теплолюбивая культура и снижение температуры воздуха до 10-13 °С не позволяют ей пройти полный цикл роста и развития.

В заключение следует отметить следующее. Представленная модель роста общей биомассы сельскохозяйственных культур основана на предположении о циркуляции биологического времени в течение онтогенеза растения, что вызывает колебания биомассы в течение онтогенеза. Проведенные расчеты и сопоставления модели с реальным объектом исследования говорят о том, что такие колебания биологического времени подтверждаются. В целом, связывая устойчивую

составляющую роста с колебаниями биологического времени в онтогенезе, мы можем записать уравнение колебания времени в организме растения:

$$\frac{d^2T}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot T = \omega_0^2 \cdot T, \quad (12)$$

где T – нормированное биологическое время, отн. ед;

t – физическое время, отн. ед;

ω_0 – период колебаний биологического времени в онтогенезе, соответствует всему вегетационному периоду.

Исходя из такого представления о процессах колебания биологического времени, можно заключить, что изменение общей биомассы организма растения в течение онтогенеза вызвано колебательными движениями биологического времени, что в целом соответствует логистической кривой роста, как целого организма растения, так и отдельных его органов. Если построить графики логистической кривой, первую и вторую её производные, то мы можем делать выводы о характере движений биологического времени в онтогенезе, рис. 6.

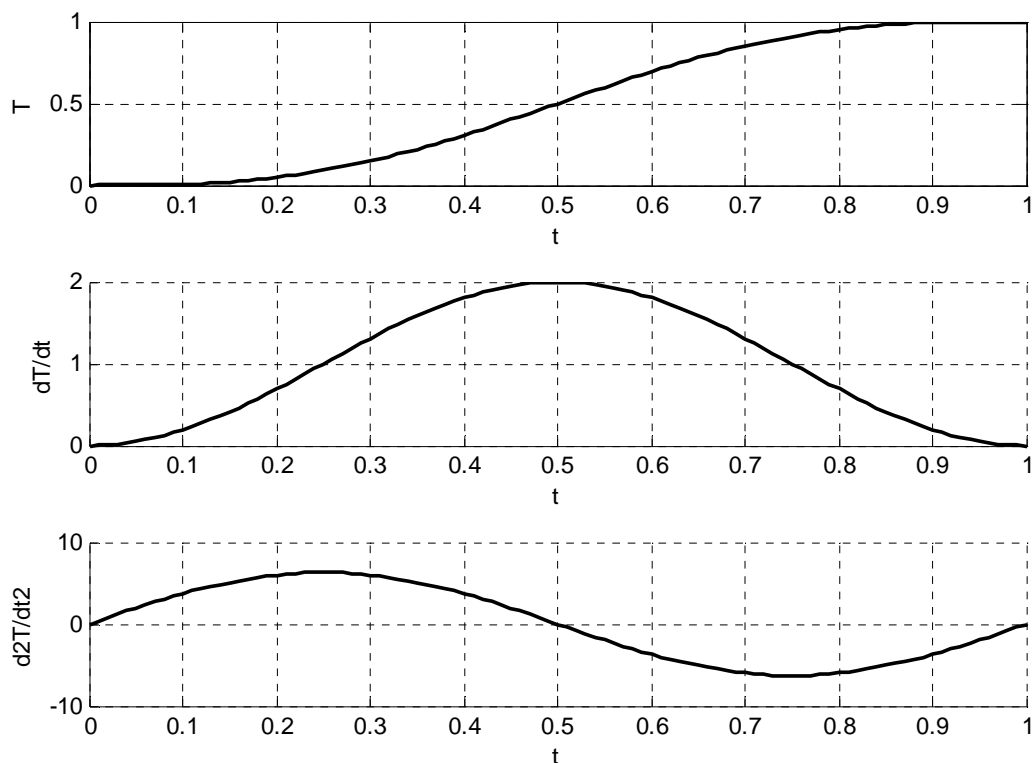


Рис. 6 – Устойчивые колебания биологического времени в онтогенезе растения: T – интегрированное время, отн. ед, колебательный процесс с повышающимся уровнем; dT/dt – колебания биологического времени возле положительного уровня, отн. ед., соответствует фотосинтетической деятельности растений в онтогенезе; d^2T/dt^2 – свободные гармонические колебания биологического времени в онтогенезе растения, отн. ед., соответствуют процессу дыхания организма растения в онтогенезе; t – весь период онтогенеза растения, отн. ед.

Следуя полученному уравнению колебаний (12), мы можем так же отметить, что период колебаний ω_0 определяет длительность онтогенеза растения. Если период колебаний, как весь онтогенез, растягивается или сжимается в зависимости от состояния факторов внешней среды линейно, то исходя из уравнения колебаний (12) следует, что нормированная общая биомасса растения будет зависеть от факторов внешней среды как парабола. Такой результат вполне очевиден и представлен на

рис. 1, 3, 4. То есть линейность изменения периода онтогенеза в зависимости от напряженности факторов внешней среды вызывает параболическую зависимость роста биомассы в зависимости от напряженности факторов внешней среды.

Выводы. 1). Предложена длиннопериодная динамическая модель роста общей биомассы сельскохозяйственных культур в зависимости от напряженности факторов внешней среды. 2). В качестве опорного уравнения использовано уравнение колебаний устойчивой составляющей общей биомассы растений. 3). Проведена оценка адекватности предложенной модели на основе данных наблюдений за культурой подсолнечник, что дает положительный результат. 4). Проведено исследование структуры модели и оценен характер влияния факторов внешней среды, как на процессы роста, так и на процессы развития культуры подсолнечника. 5). Проведенное исследование построенной модели подтверждает существование колебательного процесса биологического времени в онтогенезе растений.

Список литературы

1. Наумов М.М. Векторный характер биологического времени растений. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, - Одеса, „Екологія”, -2004, - Вип. 48, -С. 226-234.
2. Наумов М.М. Векторный характер биологического времени растений. Циркуляция биологического времени. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, - Київ, КНТ, - 2005, - Вип. 49, - С. 328-339.
3. Обручева Н.В., Ковалёв А.Г. О физиологической интерпретации сигмоидных кривых роста органов растений. // Физиология растений, - 1979, - Т. 26, - Вып. 5, - С. 1029-1043.
4. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Ленинград, Гидрометеиздат, - 1981, - 167 С.
5. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Ленинград, Гидрометеиздат, - 1983, - 175 С.
6. Константинов А.Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы. – Ленинград, Гидрометеиздат, - 1978, - 263 С.
7. Наумов М.М. Рост растений и биологическое время. // Вісник ОДЕКУ, - 2005, - Вип.. 1, - С. 72-78.
8. English S.D., McWilliam J.R., Smith R.C.G., Davidson J.L. Photosynthesis and partitioning of dry matter in sunflower. // Aust. J. Plant Physiol. – 1979, - № 6. – P. 149-164.
9. Horie T. Simulation of sunflower growth. // Bull. Natl. Inst. Agric. Sci. – 1977. –Ser A-24. – P. 45-70.
10. Венцкевич Г.З. Из опыта работ по критической обработке фенологического материала агрометеорологических ежегодников. // Труды ЦИП, - 1960, - Вып. 98, - С. 99-108.

Модель росту загальної біомаси сільськогосподарських культур побудована на основі логістичної кривої. Наумов М.М.

Була запропонована довгоперіодна динамічна модель росту загальної сухої біомаси сільськогосподарських культур, в основі якій лежить рівняння логістичної кривої, засноване на припущенні про коливальні процеси біологічного часу рослин в онтогенезі. Період коливань біологічного часу і амплітуда коливань цілком і повністю визначаються напруженістю чинників зовнішнього середовища. Проведено дослідження моделі і була отримана позитивна оцінка її адекватності реальному об'єкту досліджень. Був пояснений факт параболическої залежності росту біомаси від стану напруженості чинників зовнішнього середовища. Дано диференціальне рівняння коливань біологічного часу в онтогенезі рослин.

Ключові слова: біологічний час, ріст, розвиток, соняшник, чинники середовища, коливання, логістична крива, продуктивність.

Pattern of growth of general biomass of agricultural cultures built on the basis of logistic curve.

Naumov M.M.

The longperiods dynamic pattern of growth of general dry biomass of agricultural cultures is offered, in a basis which the equalization of logistic curve, based on supposition about the swaying processes of biological time of plants in ontogenesis, lies to. The period of vibrations of biological time and amplitude of vibrations are wholly and fully determined by tension of factors of external environment. Research of model is conducted and positive estimation of its adequacy is got to the real object of researches. It is accounted for the fact of parabolic dependence of growth of biomass from the state of tension of factors of external environment. Differential equalization of vibrations of biological time in ontogenesis of plants is given.

Keywords: biological time, growth, development, sunflower, factors of environment, oscillation, logistic curve, productivity.