

Расчёт суточного прироста биомассы кукурузы в орошаемых агролесоландшафтах

*О.В. Руплёва, д.с.-х.н., А.С. Руплёв, д.с.-х.н.,
Н.Н. Овечко, мл.н.с., ФГБНУ ВНИАЛМИ*

Производство сельскохозяйственной продукции требует глубокого знания процессов, происходящих на полях под влиянием лесных полос, погодных условий, направленных на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур, прогнозирования их развития. Современная количественная теория фотосинтетической продуктивности посевов, развитие которой определили работы А.Н. Ничипоровича, А.И. Будаговского, Ю.К. Росс, Х.Г. Томина, М.И. Будыко, О.Д. Сиротенко, М. Монси, Т. Сазки, де Вита, Р. Броувера, Пеннинга де Фриса [1–7, 10, 11] и др., позволяет рассмотреть процесс формирования урожая как сложную совокупность целого ряда физиологических процессов, интенсивность и направленность которых определяются генотипом и факторами внешней среды.

Большая часть сельскохозяйственных угодий европейской территории России расположена в районах с неустойчивым увлажнением или ограниченными ресурсами тепла, что обуславливает колебания урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому исследования на основе прибавок урожая, широко распространённые в 60–80-е гг., в настоящее время потеряли свою актуальность. Кроме того, селекционно улучшенные сорта дают другие прибавки и их трудно сравнить с предыдущими, ранее полученными.

Материалы и методы исследования. В исследованиях мы рассматривали растения как интегральный показатель всех физиологических процессов и определяли характеристики биомассы на разных этапах развития растения с учётом онтогенетических особенностей. Точки отбора

образцов биомассы кукурузы располагались перпендикулярно основным ветроударным лесным полосам по трансекте на расстояниях, кратных высоте лесной полосы (2,5; 5; 10; 15; 20 Н). За контроль было взято расстояние, превышающее 20 высот лесной полосы.

Высокий урожай может быть получен при стабильных суточных приростах сухого вещества [8], процедура нахождения которых очень трудоёмка и требует большой затраты времени. Ранее суточные приросты сухого вещества растений рассчитывались как произведение чистой продуктивности фотосинтеза на площадь листьев в данный момент времени и определялись через взятие образцов в поле. Используя математический анализ, можно упростить методику их вычисления. Для этого от логистической функции [9] находим первую производную M' :

$$M' = \left(\frac{M_{\max}}{1 + e^{a-b\tau}} \right)' = M_{\max} \cdot b \cdot e^{a-b\tau} \cdot M_{\Delta}^2, \quad (1)$$

где M_{\max} – максимальная биомасса растения (сырая или сухая) в конце вегетации;

M_{Δ} – биомасса растения в относительных единицах;

a, b – параметры уравнения;

τ – время вегетации.

Таким образом, в результате расчётов получаем, что суточные приросты сухой и соответственно сырой биомассы есть первая производная логистической функции. Графики скорости роста биомассы (сырой и сухой) в течение вегетации представлены на рисунках 1, 2. Были получены декадные данные по приросту биомассы одного растения и рассчитаны по плотности посадки на площадь прироста биомассы растений с 1 га. Со-

гласно методике можно получить приближённое значение скорости роста за любой день.

Результаты исследования. В первый год наибольший прирост сухой биомассы наблюдался под защитой лесных полос на расстояниях от 2,5 до 15Н при $\tau = 60$. На расстоянии 2,5Н от ЛП он достиг 816 кг/га за сутки (около 13 г на одно растение). На контроле максимальный прирост сухой биомассы составлял 281 кг/га (7 г на 1 растение) при $\tau = 50$. Причём если на расстояниях 2,5-15Н от ЛП шло интенсивное нарастание сухого вещества, то на расстоянии 30Н уже с 20-го дня прибавка заметно уступала вариантам под защитой лесополос – на 20–30%.

Во втором году наибольший суточный прирост на расстоянии 5Н от ЛП составил 466 кг/га сухого вещества (8 г на 1 растение). На расстоянии 2,5Н он был несколько ниже – 418 кг/га (7 г на 1 растение) и на декаду позже ($\tau = 60$). Наименьший прирост сухой биомассы наблюдался на расстоянии 30Н, составил 223 кг/га (4 г на 1 растение) и пришёлся на пятую декаду вегетации.

Третий год характеризовался повышенной влажностью. Наибольший прирост сухой биомассы был отмечен на расстоянии 10Н от ЛП при $\tau = 70$ и составил 473 кг/га, или 7 г на растение. На расстоянии 2,5Н от ЛП прирост также был высок –

466 кг/га. Особой разницы в приросте биомассы на контроле (20Н) – 405 кг/га – не отмечено. Мы объясняем это большей влажностью почвы под посевом, так как именно на расстоянии 10Н от ЛП самый высокий прирост биомассы при $\tau = 70$. Но при всех отрицательных факторах надо отметить, что на протяжении всей вегетации влияние лесных полос более благоприятно сказывается на развитии кукурузы, так как на расстоянии 2,5–5Н от ЛП прирост сухого вещества выше по абсолютным значениям.

На четвёртом году исследований максимальные суточные приросты под защитой полос приходились на разные периоды вегетации и были растянуты во времени. Так, на расстоянии 2,5Н при $\tau = 80$ прирост сухого вещества равнялся 5 г/сут, или 363 кг/га. На расстоянии 5Н от ЛП эта величина была несколько меньше (257 кг/га, или 4 г/сут) и приходилась на $\tau = 70$. На расстоянии 10Н от ЛП максимальные суточные приросты отмечены при $\tau = 60$, а на расстоянии 20Н они сместились на более поздний период вегетации. Это объясняется тем, что на начальном этапе развития под защитой лесополос при большой влажности почвы и воздуха шло интенсивное, но менее чем на расстоянии 20Н, нарастание биомассы. А на контроле был недостаток влаги на начальном этапе органогенеза, так как в открытом поле происходит

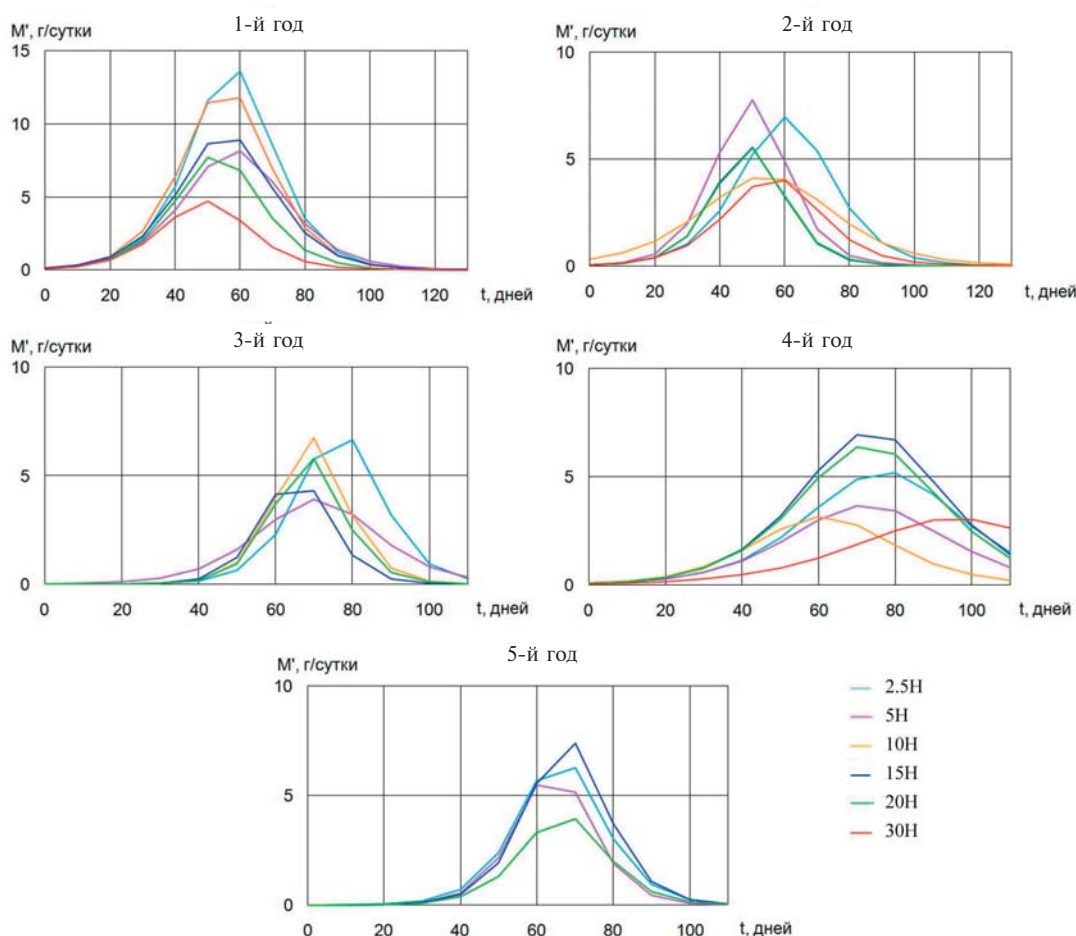


Рис. 1 – Суточные приросты сухой биомассы растения на разных расстояниях от лесной полосы

более интенсивное иссушение почвы, и суточные приросты были невелики. После обильных осадков в июле – августе прирост на необлесённом поле соответственно стал возрастать и максимального значения – 266 кг/га (3 г/растение) достиг при $\tau = 90$. В этот период должно идти накопление питательных веществ в початке, созревание и налив зерна, а не рост биомассы. Поэтому более благоприятные условия создаются для развития кукурузы под защитой лесных полос.

Пятый год исследований был влажный. Но более благоприятные для развития кукурузы условия складывались под защитой лесных полос, а не на необлесённом поле, так как суточные приросты сухой биомассы на протяжении всего периода вегетации были выше.

Подведением итогов суточных приростов надземной массы кукурузы является анализ максимального прироста за вегетацию (табл. 1). По данным таблицы видно, что сортовые особенности

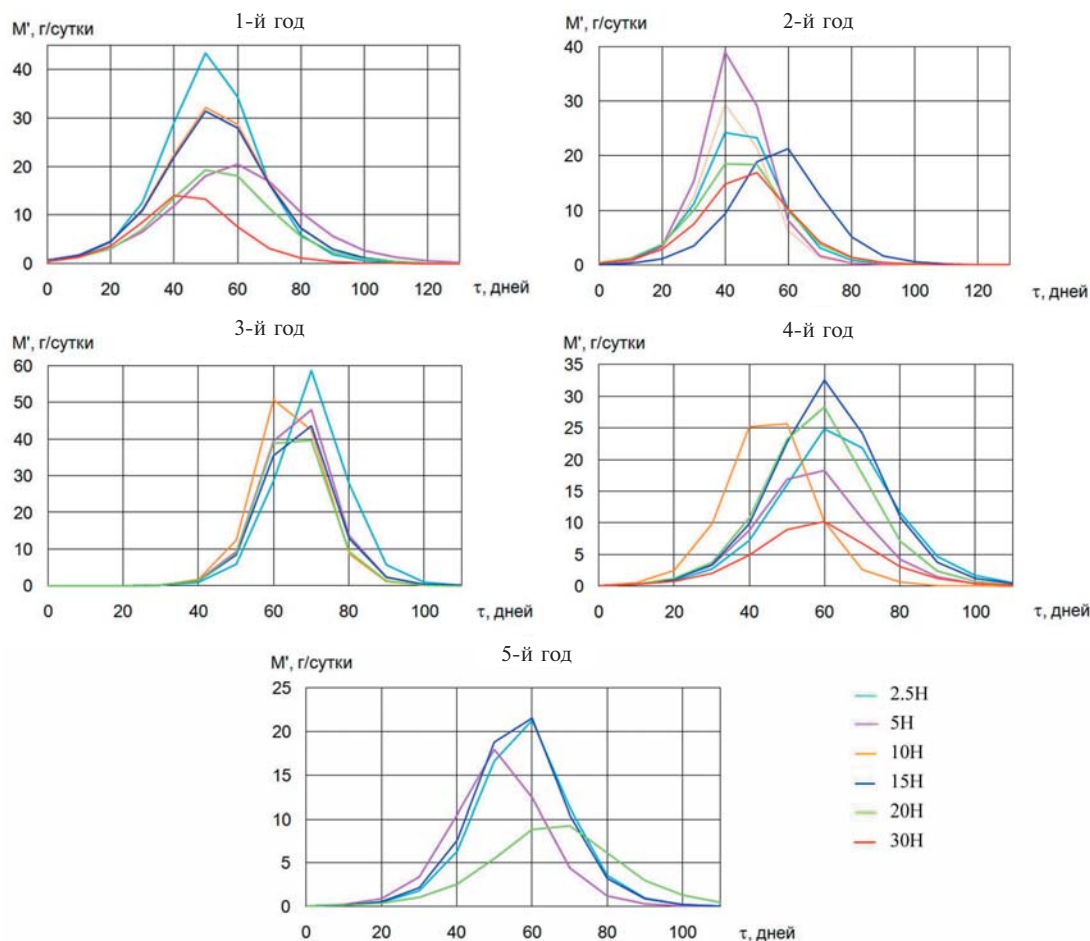


Рис. 2 – Суточные приросты сырой биомассы растения на разных расстояниях от лесной полосы

1. Максимальный прирост сырой (числитель) и сухой (знаменатель) надземной биомассы кукурузы за вегетацию под влиянием лесных полос, г

Расстояние до лесных полос, Н	Год исследования				
	первый	второй	третий	четвёртый	пятый
2,5	$\frac{1510}{480}$	$\frac{780}{260}$	$\frac{1290}{200}$	$\frac{930}{281}$	$\frac{627}{196}$
5	$\frac{1010}{340}$	$\frac{980}{230}$	$\frac{1150}{160}$	$\frac{660}{201}$	$\frac{515}{160}$
10	$\frac{1310}{450}$	$\frac{750}{230}$	$\frac{1180}{160}$	$\frac{779}{154}$	–
15	$\frac{1280}{360}$	$\frac{750}{160}$	$\frac{1050}{116}$	$\frac{1110}{354}$	$\frac{657}{207}$
20	$\frac{840}{280}$	$\frac{680}{160}$	$\frac{1000}{138}$	$\frac{960}{326}$	–
Контроль	$\frac{540}{170}$	$\frac{600}{160}$	$\frac{480}{167}$	$\frac{390}{217}$	$\frac{390}{119}$

возделываемой кукурузы и положительное влияние ЛП лежат в основе различий по массе.

В первый и третий годы наблюдались сорта ВИР-156 ТВ и Днепровский 98 МВ, районированные для Волгоградской области и выращиваемые на зерно и силос. Во второй год наблюдался югославский гибрид VC-183; в четвёртый и пятый – американский гибрид «Элора». Независимо от погодных условий (первый год – засушливый, третий – влажный), прирост сырой биомассы под влиянием ЗЛН всегда был больше: у кукурузы зернового типа в среднем за 3 года – в 1,5 раза (во второй год – в 1,3 раза; в четвёртый – в 1,8 раза; в пятый – в 1,5 раза), а у силосной – от 2,2 раза в первый год до 2,4 раза в третий год. По сухой биомассе цифры варьируют, но в целом прослеживается та же тенденция.

Для аналитического выражения пространственной динамики продуктивности применялась экспоненциальная зависимость, которая при моделировании развития кукурузы бралась в виде:

$$M - M_k = (M_0 - M_k) \cdot e^{-b \cdot L_H} \quad \left\{ \begin{array}{l} e^{-b \cdot L_H} = \\ = 1, a = M_0 - M_k \\ \text{если } L_H = 0 \\ e^{-b \cdot L_H} = \\ = 0, a = M - M_k \\ \text{если } L_H \rightarrow \infty \end{array} \right. , \quad (2)$$

где M – элемент продуктивности;
 M_0 – элемент продуктивности при $L_H = 0$;
 M_k – максимальное значение элемента продуктивности без ЛП;
 a, b – коэффициенты;
 L_H – расстояние от лесной полосы.
 Обобщённое уравнение имеет вид:

$$M = M_k + a \cdot e^{-b \cdot L_H} , \quad (3)$$

где $a = M_0 - M_k$.

Регрессионный анализ суточных приростов позволил выявить общие закономерности в развитии биомассы. Поэтому по осреднённом за пять лет максимальному приросту кукурузы построена кривая зависимости биомассы от расстояния до лесных полос, описываемая экспоненциальной функцией (рис. 3) с разными коэффициентами для сырой и сухой биомасс (табл. 2).

По таблице 2 видно, что корреляционная связь между расстояниями до ЛП и биомассой очень тесная: $R = 0,91$ для сырой биомассы и $R = 0,99$ – для сухой. Коэффициент детерминации равен 0,82 в первом случае и 0,99 – во втором. При сопоставлении расчётных данных M_p с фактическими M_ϕ относительная ошибка ϵ очень мала и не превышает 1,4–3%, лишь для $L_H = 5$. На контроле она повышается до 19–24%, что обусловлено, скорее всего, несоблюдением технологических особенностей выращивания культуры на поле или ошибкой при взятии средних стеблей. Высокий показатель ошибки (хотя для растений это немного) может также отражать интегральность числового значения биомассы как показателя. Биомасса растения включает в себя массу листьев, стеблей, початков, ростовые функции которых имеют разную скорость развития.

Предложенное уравнение экспоненциальной зависимости (3) подтверждает влияние лесных полос на продуктивность биомассы кукурузы. Независимо от условий это даёт возможность прогнозировать развитие силосной и сухой массы кукурузы на период вегетации в зоне влияния лесных полос.

На основании обобщённого уравнения рассчитана надземная масса кукурузы. Разброс относительной ошибки достаточно высок. Но связано это с тем, что при написании аналитического выражения по осреднённым данным за пятилетие влияние таких факторов, как различная температура, влажность воздуха и почвы на отдельных этапах

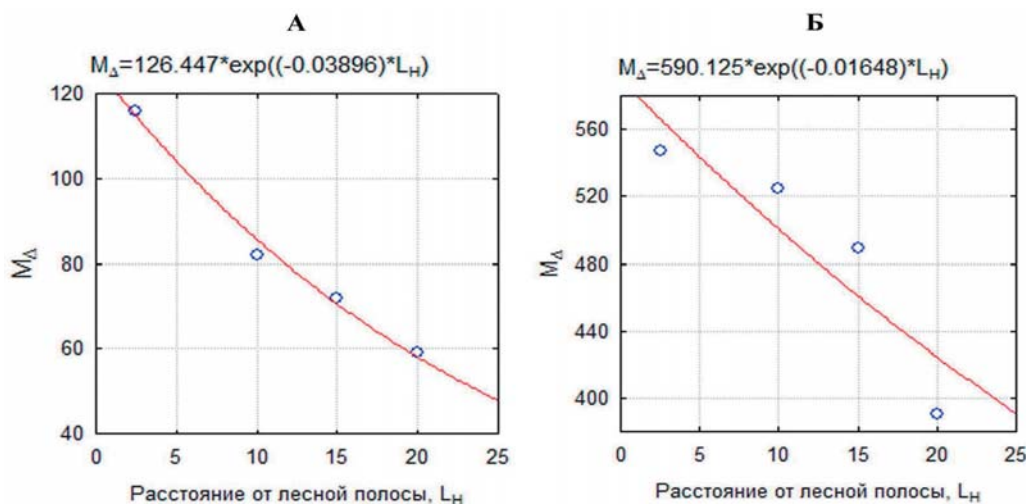


Рис. 3 – Зависимость биомассы растения от расстояния до лесной полосы:
 А – сухая биомасса, Б – сырая биомасса

2. Параметры обобщённого уравнения зависимости биомассы кукурузы от расстояния до лесных полос (L_H) и данные корреляционного анализа

Биомасса	Параметры уравнения		Коэффициент корреляции, R_{xy}	Ошибка коэффициента корреляции, S_r	Коэффициент детерминации, R_2
	a	b			
Сырая биомасса	590,125	-0,01648	0,91	0,08	0,82
Сухая биомасса	126,447	-0,03896	0,99	0,04	0,99

органогенеза, несоблюдение технологий внесения удобрений, повышает ошибку в измерениях. Расчёт по годам для сырой и сухой биомассы надо рассматривать в целом.

Вывод. Развитие сельскохозяйственных культур в зоне влияния лесных полос носит закономерный характер. Учёт продуктивности биомассы можно осуществлять не только отбором образцов в поле, но и с привлечением математического моделирования. Нами была упрощена процедура нахождения суточных приростов сухого вещества биомассы кукурузы для различных гибридов в засушливые и влажные годы, позволяющая создавать прогнозные модели для орошаемых агролесоландшафтов в пространстве. Это позволило выявить общие закономерности в развитии биомассы и описать её экспоненциальной функцией.

Литература

1. Ничипорович А.А. Задачи работ по изучению фотосинтетической деятельности растений как фактора продуктивности // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. Л.: Гидрометеиздат, 1966. С. 7–50.

2. Будаговский А.И., Росс Ю.К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. Л.: Гидрометеиздат, 1966. С. 51–58.

3. Росс Ю.К. Математическое моделирование фотосинтетической продуктивности растений // Вестник АН СССР. 1972. № 12. С. 99–104.

4. Тооминг Х.Г. Дневные и сезонные изменения альбедо некоторых естественных поверхностей Эстонской ССР // Исследования по физике атмосферы. Тарту, 1960. Вып. 2. С. 115–163.

5. Будыко М.И., Юдин М.И. К постановке экспериментальных исследований метеорологической эффективности ползащитных лесополос // Труды ГГО. 1952. Вып. 29 (91). С. 105–114.

6. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 8–12.

7. Полевой А.Н. Теория и расчёт продуктивности сельскохозяйственных культур. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 174 с.

8. Климова А.А. Листопад Г.Е., Устенко Г.П. Программирование урожая. Волгоград, 1975. 367 с.

9. Рулёв А.С., Рулёва О.В. Применение логистической функции в агролесомелиоративных исследованиях // Доклады РАСХН. 2004. № 2. С. 28–32.

10. Monsi M. Saeki T. Uber den Lichtfaktor in den Pflanzen gesellschaften und seine Bedeueutung fur die stoffproduktion // Joep.J.Bot. 1953. Vol. 14. N1. Pp. 22–52.

11. De Wit C.T. Photosynthesis of leaf conopies // Agric. Res. Rep. 1965. N 663. P. 17–37.