

РИТМИЧНОСТЬ ЛИНЕЙНОГО ПРИРОСТА ОДНОЛЕТНИХ ПОБЕГОВ ИВЫ ТРЕХТЫЧИНКОВОЙ

RHYTHM OF LINEAR GROWTH OF ANNUAL SHOOTS OF ALMOND WILLOW

A. Afonin

Summary. The aim of the study was to identify patterns in the dynamics of daily linear growth of annual shoots of almond willow. For the analysis of seasonal dynamics of growth of annual shoots used genetically aligned material cultivated in homogeneous conditions. The empirical data obtained are approximated using the harmonic analysis methodology. It is established that the main contribution to the seasonal dynamics of the daily linear growth of shoots is made by the first harmonics with high amplitude.

Keywords: almond willow, *Salix triandra*, annual shoots, daily growth, biological oscillator, amplitude-frequency analysis, amplitude-phase analysis.

Афонин Алексей Алексеевич

Д.с.-х., н., профессор, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского
afonin.salix@gmail.com

Аннотация. Цель исследования: выявление закономерностей динамики суточного линейного прироста однолетних побегов ивы трехтычинковой. Для анализа сезонной динамики нарастания однолетних побегов использован генетически выровненный материал, культивируемый в однородных условиях. Полученные эмпирические данные аппроксимированы с использованием методологии гармонического анализа. Установлено, что основной вклад в сезонную динамику суточного линейного прироста побегов вносят первые гармоники с высокой амплитудой.

Ключевые слова: ива трехтычинковая, *Salix triandra*, однолетние побеги, суточный прирост, биологический осциллятор, амплитудно-частотный анализ, амплитудно-фазовый анализ.

Ива трехтычинковая (*Salix triandra* L.) — широко известный представитель европейских кустарниковых ив [1, 2]. Этот вид занимает особое положение в современных системах рода *Salix* [3, 4] и поэтому представляет особый интерес как модельный объект для изучения изменчивости признаков. С практической точки зрения, ива трехтычинковая — источник высококачественного прута, который традиционно используется для различных видов плетения [5]. В последние десятилетия высокопродуктивные культивары ивы трехтычинковой и ее гибридов рассматриваются как перспективный материал для создания энергетических плантаций [6, 7]. Дальнейшее внедрение ивы трехтычинковой в культуру должно основываться на сочетании современных достижений селекции и агролесотехники. Популяционно-клоновая селекция ив основана на гибридизации с последующим отбором перспективных культиваров [8, 9]. В то же время для многих видов *Salix*, включая *S. triandra*, доказана возможность апомиксиса [10], однако изменчивость морфофизиологических признаков ивы трехтычинковой при апомиктической семенной репродукции остается недостаточно изученной [11]. Для создания плантаций интенсивного типа необходимо иметь коллекции культиваров [12], включая клоны с разными ритмами нарастания побегов [13], поскольку «воздействия на растения (удобрение, полив и т.д.) дают наибольшую эффективность, если они приурочиваются именно к переломным этапам развития организма» [14: с. 42].

Закономерности онтогенетической изменчивости ивы трехтычинковой до сих пор остаются недостаточно исследованными [15], что препятствует своевременной оценке материала при селекции на разнообразие ритмов развития побегов.

Цель настоящего исследования: выявление закономерностей динамики суточного линейного прироста однолетних побегов ивы трехтычинковой для разработки научных основ повышения устойчивости и продуктивности насаждений интенсивного типа.

Материал и методы

В качестве материала для данного исследования использовались годовые побеги двухлетних сеянцев ивы трехтычинковой, принадлежащих к третьему семенному поколению семьи, созданной методом регулярного инбридинга в условиях салицетума Брянского государственного университета.

В качестве основателя семьи использовалась типичная пестичная особь ивы трехтычинковой из квазинативной популяции на территории Брянского лесного массива в точке с координатами N53.201025, E34.507728. Из семян, собранных с данной особи 13.06.2000 г., было выращено исходное поколение. Все сеянцы данного поколения обладали типичными видовыми признаками. В 2010 г. рамета одной из пе-

стичных особей данной семьи в результате свободного внутрисемейного опыления дала семенное потомство с заметным расщеплением по морфологии листьев, в частности, одна из особей характеризовалась короткими листовыми пластинками (*S. triandra* f. *brevifolia*). В 2017 г. из семян, полученных от этой особи в условиях беспыльцевого режима, были выращены сеянцы третьего поколения. Среди этих сеянцев наблюдалось расщепление по морфологии листьев, в частности, были выявлены узколистные и коротколистные особи (что указывает на возможность гаметофитного апомиксиса с последующей диплоидизацией) [11]. Весной 2018 г. наиболее сильные сеянцы числом 32 шт. были высажены в салицетум Брянского государственного университета. Все сеянцы были пронумерованы по порядку: *tr* 01...*tr* 32. Схема посадки — тригонально-линейная с расстоянием между посадочными местами 1 м. Таким образом, в данном исследовании для выявления закономерностей изменчивости морфофизиологических признаков древесных растений реализуется требование к использованию генетически выровненного материала, культивируемого в однородных условиях [16].

Из однолетних побегов на каждом растении оставался только один — наиболее сильный; боковые силептические побеги выщипывались по мере появления. Замеры длины побегов — L , см — производились каждые четверо суток на протяжении вегетационного периода 2018 г. Дата первого измерения (начала активного нарастания побегов) — 07.05.18; дата последнего измерения (до прекращения роста у большинства сеянцев) — 15.08.18. Все даты, в которые проводились наблюдения, были пронумерованы по порядку ($t = 0, 4, 8 \dots 100$). Каждому очередному наблюдению был присвоен порядковый номер ($k = 1, 2, 3 \dots 26$). На основании полученных эмпирических данных вычислялся текущий суточный прирост побегов (1):

$$\Delta L(t) = \frac{L_{k+1} - L_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}}$$

где ΔL_i — текущий суточный прирост побега в интервале между предыдущим и последующим наблюдениями (см/сут); L_{k+1} и L_{k-1} — длина побега (см) в предыдущем и последующем наблюдении; t_{k+1} и t_{k-1} — предыдущая и последующая пронумерованные даты наблюдений (интервал $t_{k+1} \dots t_{k-1}$, за который вычислялся текущий суточный прирост, равен 8 сут).

В итоге были получены выровненные эмпирические ряды суточного прироста побегов $\Delta L(t)$, где каждое значение t_k есть медианное значение порядкового интервала. На основании полученных результатов для каждого побега вычислялся среднесуточный прирост побегов ΔL_{cp} на протяжении всего периода наблюдений (2):

$$\Delta L_{cp} = \sum_{t=4}^{t=92} \Delta L(t) / (k - 2)$$

Далее для каждого наблюдения с порядковым номером даты t (от $t = 4$ до $t = 96$) вычислялись отклонения $dL(t)$ в виде разности между эмпирическими значениями текущего суточного прироста побегов $\Delta L(t)$ и среднесуточным приростом побегов ΔL_{cp} (3):

$$dL(t) = \Delta L(t) - \Delta L_{cp}$$

где $\Delta L(t)$ — эмпирические значения текущего суточного прироста побегов; ΔL_{cp} — среднесуточный прирост побегов на протяжении всего периода наблюдений.

Каждый эмпирический ряд $dL(t)$ рассматривался как реализация случайной функции (4):

$$dL(t) = \varphi(t) + U(t)$$

где $\varphi(t)$ — математические ожидания dL при заданных значениях t ; $U(t)$ — случайные отклонения от математического ожидания.

Развивающийся побег рассматривался как биологический осциллятор, т.е. нестационарная система, в которой значения некоторого параметра (dL) зависят от времени (t). На этом основании для гармонического анализа динамики суточного прироста побегов использовался разработанный нами алгоритм [17].

Для каждого однолетнего побега математические ожидания рядов $dL(t)$ рассматривались как суммы гармоник h с порядковым номером n . Каждой гармонике h_n соответствует уравнение синусоиды (5):

$$dL(t)_n = a_n \sin\left(n2\pi \frac{t}{T} + \tau_n\right)$$

где: $dL(t)_n$ см/сут — ожидаемое отклонение текущего суточного прироста побега от предыдущего расчетного значения $dL(t)_{n-1}$ (нулевой гармонике соответствует ΔL_{cp}); a_n — амплитуда колебания; n — порядковый номер гармоники; π — число «пи»; t — пронумерованные даты наблюдений; T — главный период колебаний ($T = 96$ суток при $n = 1$), τ_n — фазовое смещение.

Параметры уравнений гармоник рассчитывались итерационным методом с использованием ресурсов MS Office Excel. Для каждой гармоники h_n расчеты велись до тех пор, пока сумма квадратов отклонений $(dL(t)_{факт} - dL(t)_{расч})^2$ не достигала минимума. Достоверность ап-

Таблица 1. Достоверность аппроксимации эмпирических рядов динамики суточного прироста побегов путем суммирования гармоник

Номера сеянцев	L , см	ΔL_{cp} , см/сут	SS_0	$SS_{ост.}$	$F_{факт}$	R^2
<i>tr</i> 04	211	2,01	6,53	0,45	14,41	0,93
<i>tr</i> 05	188	1,82	4,93	0,29	16,96	0,94
<i>tr</i> 09	228	2,22	8,23	0,37	22,47	0,96
<i>tr</i> 13	173	1,59	8,88	0,58	15,31	0,93
<i>tr</i> 15	179	1,76	6,64	0,25	26,55	0,96
<i>tr</i> 17	191	1,70	3,84	0,18	21,32	0,95
<i>tr</i> 19	199	1,90	4,55	0,13	35,41	0,97
<i>tr</i> 21	184	1,73	4,40	0,52	8,44	0,88
<i>tr</i> 23	195	1,78	3,45	0,13	27,42	0,96

Примечание: L — длина побегов (см) на 15.08.2018, ΔL_{cp} — средний прирост побегов (см/сут) за весь период наблюдений; SS_0 — сумма квадратов отклонений ΔL от ΔL_{cp} ; $SS_{ост.}$ — остаточная сумма квадратов отклонений фактических значений ΔL от расчетных значений ΔL в сумме гармоник; $F_{факт}$ — фактический критерий Фишера (при критическом значении $F_{0,001} = 3,92$); R^2 — коэффициент детерминации.

проксимации эмпирических рядов каждой гармоникой определяли, используя F -критерий Фишера (6):

$$F_{факт} = \frac{SS_1}{v_1} / \frac{SS_2}{v_2}$$

где SS_1 — начальная (большая) сумма квадратов отклонений, SS_2 — конечная (меньшая) сумма квадратов отклонений; v_1 и v_2 — число степеней свободы для N числа наблюдений ($v_1 = N - 1 = 23$; $v_2 = N - 2 = 22$).

Гармоники, для которых $F_{факт}$ превышало $F_{крит}$ при $P < 0,30$ ($F_{0,30} = 1,10$), использовались для расчета суммарной расчетной динамики рядов $dL(t)$, которая для каждого сеянца рассчитывалась путем сложения гармоник h с порядковыми номерами n (7):

$$dL(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \sin(n2\pi \frac{t}{T} + \tau_n) \right)$$

На основании величин SS_0 (сумма квадратов отклонений $\Delta L(t)$ от ΔL_{cp}) и $SS_{ост.}$ (остаточная сумма квадратов отклонений фактических значений dL_n от расчетных значений dL_n в сумме гармоник h_n) вычислялся коэффициент детерминации R^2 — величина, показывающая, насколько адекватно эмпирический ряд аппроксимируется вычисленным рядом (8):

$$R^2 = 1 - \frac{S_{ост.}}{S_0}$$

Для каждого побега на основании порядковых номеров гармоник n и соответствующих вычисленных значений амплитуд a_n строились амплитудно-частотные спектрограммы. Далее выделялись ритмотипы — группы сеянцев, у которых обнаруживалось существенное визуальное сходство амплитудно-частотных спектрограмм. Для выявленных ритмотипов рассчитывались средние значения параметров гармоник: a_n (амплитуда) и τ_n (фазовое смещение). На основании вычисленных средних параметров строились и анализировались расчетные групповые ряды динамики отклонений текущего суточного прироста побегов от среднесуточного прироста.

Результаты и обсуждение

Из 32 изученных сеянцев для окончательного анализа были выбраны 9 шт. (*tr* 04, *tr* 05, *tr* 09, *tr* 13, *tr* 15, *tr* 17, *tr* 19, *tr* 21, *tr* 23), у которых сохранялся непрерывный рост на протяжении всего вегетационного периода, а длина однолетних побегов к моменту завершения роста составила 170...230 см. Для побегов указанных сеянцев были вычислены выровненные эмпирические ряды суточного прироста побегов ΔL для каждой пронумерованной даты наблюдений t , а затем — среднесуточные приросты побегов ΔL_{cp} для всего периода наблюдений. Для каждой даты t были вычислены отклонения текущего суточного прироста $\Delta L(t)$ от среднесуточного прироста ΔL_{cp} . Для каждого эмпирического ряда отклонений $dL(t)$ были рассчитаны параметры гармоник h_n в интервале $h_1...h_8$. Показатели достоверности аппроксимации эмпирических рядов $dL(t)$ путем суммирования полученных гармоник приведены в таблице 1.

Таблица 2. Параметры ритмотипов линейного прироста побегов

Номера ритмотипов и сеянцев	Параметры уравнений	Номера гармоник n			
		1	2	3	4
I ритмотип	a	0,31	0,33	0,20	0,33
	τ	4,8	1,9	3,9	2,8
tr 13	a	0,10	0,55	0,30	0,50
	τ	5,0	1,6	2,6	2,8
tr 15	a	0,60	0,15	0,15	0,30
	τ	4,8	2,6	4,8	3,2
tr 19	a	0,20	0,35	0,20	0,35
	τ	4,0	2,2	3,6	2,6
tr 23	a	0,35	0,25	0,15	0,15
	τ	5,4	1,2	4,4	2,4
II ритмотип	a	0,20	0,38	0,38	0,30
	τ	1,5	2,1	3,9	3,3
tr 04	a	0,15	0,45	0,45	0,25
	τ	0,6	1,8	4,0	3,2
tr 09	a	0,25	0,45	0,45	0,30
	τ	2,2	3,0	4,0	3,8
tr 17	a	0,20	0,25	0,25	0,35
	τ	1,6	1,6	3,8	3,0
III ритмотип	a	–	0,13	0,35	0,25
	τ	–	5,9	5,0	3,3
tr 05	a	0,10	0,10	0,35	0,30
	τ	2,0	5,4	4,8	3,0
tr 21	a	0,25	0,15	0,35	0,20
	τ	4,8	6,3	5,2	3,6

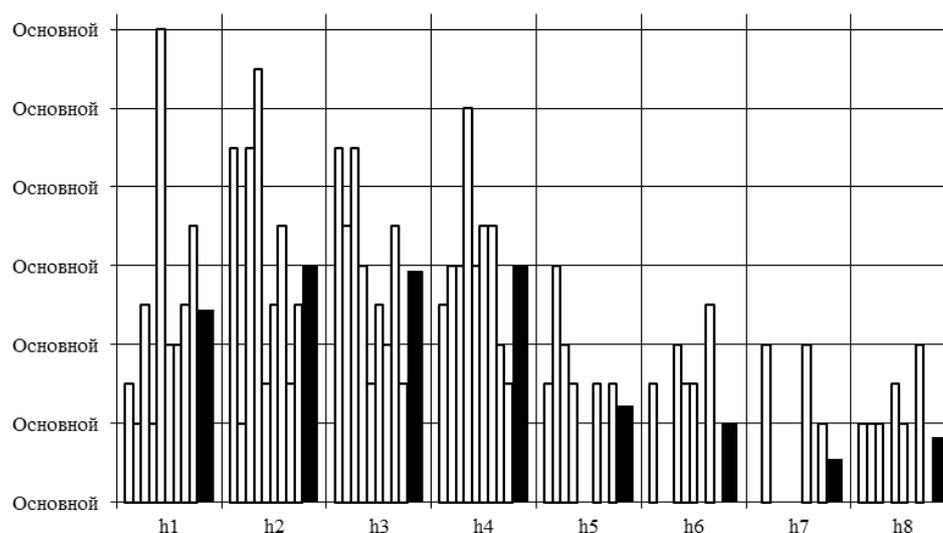


Рис. 1. Амплитудно-частотные спектры динамики $dL(t)$ в интервале гармоник $h 1 \dots h 8$

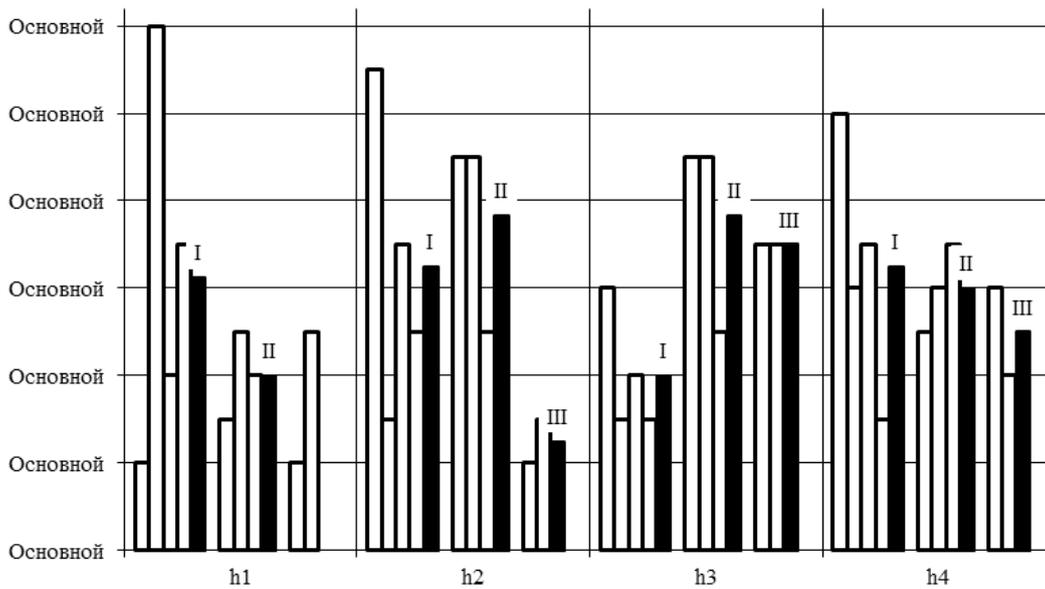


Рис. 2. Амплитудно-частотные спектры динамики $dL(t)$ в интервале гармоник $h 1... h 4$, сгруппированные по ритмотипам

Примечание: по оси абсцисс номера гармоник, по оси ординат значения коэффициентов амплитуд; ряды сеянцев показаны без заливки, средние значения амплитуд для каждой гармоники залиты черным.

Для всех изученных сеянцев итоговое фактическое значение F — критерия многократно превышает $F_{крит}$ при $P < 0,001$, коэффициент детерминации R^2 составляет $0,88...0,97$. Таким образом, использованный алгоритм гармонического анализа позволяет описать динамику суточного прироста побегов рассматриваемых сеянцев ивы трехтычинковой с исключительно высокой точностью.

На основании коэффициентов a_n уравнений гармонических колебаний (соответствующих их амплитуде) для побегов всех сеянцев были построены амплитудно-частотные спектры вычисленной динамики $dL(t)$ в интервале гармоник $h 1... h 8$ (рис. 1).

Сравнительный анализ полученных спектрограмм показал, что основной вклад в формирование общей динамики $dL(t)$ вносят четыре низшие гармоники (включая первую) с высокой амплитудой, которые обнаружены у всех изученных сеянцев. Высшие гармоники ($n \geq 5$) со значительно меньшей амплитудой обнаружены не у всех сеянцев. На этом основании можно предположить, что высшие гармоники характеризуют не группы сеянцев, а отдельные побеги и оказывают лишь модулирующее влияние на общую динамику $dL(t)$. По третьей и четвертой гармоникам различия между побегами изу-

ченных сеянцев не обнаружены: значения параметров a_n (амплитуды) и τ_n (фазовые смещения) близки между собой. Третья гармоника дает три пика-максимума с периодичностью 32 сут: примерно 27 мая, 28 июня и 30 июля (с отклонением от указанных дат ± 8 сут). Четвертая гармоника дает четыре пика-максимума с периодичностью 24 сут: примерно 23–27 мая, 16–20 июня, 10–14 июля и 3–7 августа (с отклонениями в пределах указанных дат). Первые максимумы третьей и четвертой гармоник практически совпадают. Основные различия между побегами изученных сеянцев определяются разными амплитудами и фазовыми смещениями первых гармоник. В одной группе сеянцев ($tr 13, tr 15, tr 19, tr 21, tr 23$) первые гармоники дают один пик максимального суточного прироста (примерно 24 июня ± 12 сут), а в другой группе ($tr 04, tr 05, tr 09, tr 17$) в третьей декаде июня наблюдается некоторое снижение суточного прироста. По второй гармонике (периодичность колебаний 48 сут) большинство сеянцев образуют одну группу с двумя пиками-максимумами: 20 июня и 7 августа (с отклонением от указанных дат ± 8 сут). Однако два сеянца — $tr 05$ и $tr 21$ — обнаруживают незначительные пики примерно 23 мая и 7 августа. Таким образом, на основании параметров a_n (амплитуды) и τ_n (фазового смещения) низших гармоник все изученные сеянцы можно сгруппировать в три ритмотипа (табл. 2).

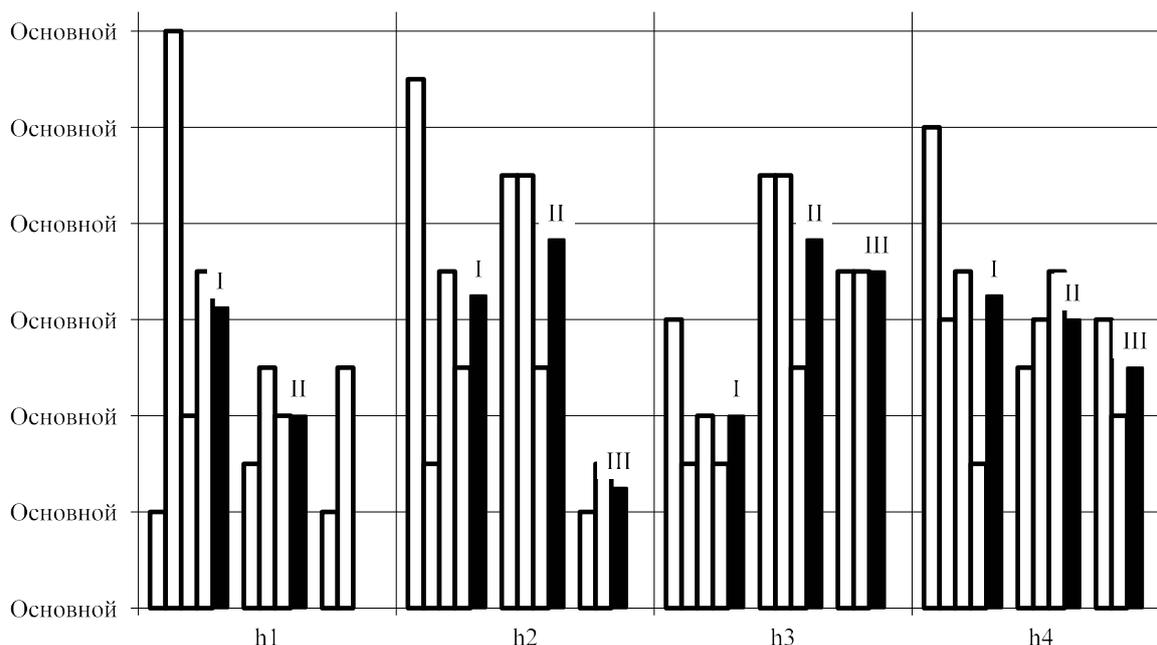


Рис. 3. Расчетная сезонная динамика суточного линейного прироста однолетних побегов

Примечание: по оси абсцисс даты, по оси ординат отклонения текущего суточного прироста побегов от среднесуточного прироста (см)

Для первых двух ритмотипов вычислены все средние значения a_n и τ_m , а для третьего ритмотипа (сеянцы tr 05 и tr 21) — только для h 2... h 4, поскольку по первой гармонике они относятся к разным группам.

На основании сгруппированных параметров низших гармоник были построены амплитудно-частотные спектры вычисленной динамики $dL(t)$ в интервале h 1... h 4, иллюстрирующие основные различия между выявленными ритмотипами (рис. 2).

Примечание: по оси абсцисс номера гармоник, по оси ординат значения коэффициентов амплитуд; ряды сеянцев показаны без заливки, средние значения амплитуд для каждого ритмотипа (I, II, III) залиты черным.

Первый ритмотип (сеянцы 13, tr 15, tr 19, tr 23) характеризуется высокими средними амплитудами 1-й, 2-й и 4-й гармоник, второй ритмотип (сеянцы tr 04, tr 09, tr 17) — высокими амплитудами 2-й, 3-й и 4-й гармоник, а третий ритмотип (сеянцы tr 05 и tr 21) — высокой амплитудой 3-й и 4-й гармоник. Ожидаемые ряды динамики $dL(t)$ для выявленных ритмотипов были вычислены путем суммирования первых четырех гармоник. Результаты вычисления ожидаемых рядов динамики для каж-

дого сеянца и для каждого ритмотипа показаны на рисунке 3.

Первый и второй ритмотип характеризуются наличием трех пиков-максимумов суточного прироста (примерно 23–27 мая, 20 июня и 7 августа), которые обусловлены суммированием 3-й и 4-й гармоник. При этом второй и третий пики дополнительно усиливаются за счет 2-й гармоники. Однако у первого ритмотипа второй пик выражен сильнее (что обусловлено положительным вкладом 1-й гармоники), а у второго ритмотипа вершины пиков лежат практически на одной прямой линии (что обусловлено отрицательным вкладом 1-й гармоники). Третий ритмотип отличается от первых двух наличием четвертого сравнительного невысокого пика максимума суточного прироста (примерно 10–14 июля). Появление этого пика обусловлено тем, что у первых двух ритмотипов максимум 4-й гармоники нейтрализуется минимумом 2-й гармоники, а у третьего ритмотипа этот минимум смещен по фазе. Одновременно это приводит к тому, что минимум 2-й гармоники появляется в начале августа, что и приводит к снижению суточного прироста. Таким образом, разнообразие ритмов развития однолетних побегов обусловлено дифференцированным вкладом первых четырех гармоник в сезонную динамику суточного прироста.

Выводы

1. На генетически выровненном материале, культивируемом в однородных условиях, установлено, что сезонная динамика суточного линейного прироста однолетних побегов ивы трехтычинковой с высокой точностью аппроксимируется суммой уравнений гармонических колебаний.

2. С помощью амплитудно-частотного анализа установлено, что основной вклад в сезонную динамику суточного линейного прироста побегов вносят четыре низшие гармоники (включая первую) с высокой амплитудой, которые обнаружены у всех изученных сеянцев.

3. На основании амплитудно-фазового анализа все изученные сеянцы сгруппированы в три ритмотипа, которые различаются вследствие дифференцированного вклада первых четырех гармоник в сезонную динамику суточного линейного прироста однолетних побегов.

4. На основании закономерностей нарастания однолетних побегов ивы трехтычинковой, выявленных в данном исследовании, мероприятия, стимулирующие нарастание побегов, рекомендуется проводить в периоды положительной динамики суточного линейного прироста (ориентировочно 10...20 мая, 10...20 июня и 20...30 июля).

ЛИТЕРАТУРА

1. Skvortsov A. K. Willows of Russia and Adjacent Countries. Taxonomical and Geographical Revision / A. K. Skvortsov. — Joensuu: University of Joensuu, 1999. — 307 p.
2. Валягина-Малютина Е. Т. Ивы европейской части России / Е. Т. Валягина-Малютина. — М.: КМК, 2004. — 217 с.
3. Chen J. H. Molecular phylogeny of *Salix* L. (Salicaceae) inferred from three chloroplast datasets and its systematic implications / J. H. Chen, H. Sun, J. Wen, Y.-P. Yang. — *Taxon*, 59(1). — 2010. — P. 29–37.
4. Баркалов В. Ю. Филогенетические отношения видов *Salix* L. subg. *Salix* (Salicaceae) по данным секвенирования межгенных спейсеров хлоропластного генома и ITS ядерной рибосомальной ДНК / В. Ю. Баркалов, М. М. Козыренко // *Генетика*. — 2014. — Т. 50. — № 8. — С. 940–949.
5. Гомилевский В. И. Культура ивы и корзиночное производство / В. И. Гомилевский. — СПб.: Книгоизд-во П. П. Сойкина, 1907. — 41 с.
6. Фучило Я. Д. Створення та вирощування енергетичних плантацій верб і тополь: Науково-методичні рекомендації / Я. Д. Фучило, М. В. Сбитна, О. Я. Фучило, В. М. Літвін. — К.: Логос, 2009. — 80 с.
7. Karp A. Genetic Improvement of Willow for Bioenergy and Biofuels // A. Karp, S. J. Hanley, S. O. Trybush et al. // *Journal of integrative plant biology*. — 2011. — V.53 (2). — P. 151–165.
8. Сукачев В. Н. Из работ по селекции ивы / В. Н. Сукачев // *Селекция и интродукция быстрорастущих древесных пород*. — Л.: Гослестехиздат, 1934. — С. 51–85.
9. Fuchylo Ya. D. Selection bases of Developing new varieties of willow family (Salicaceae Mirb.) to create energy plantations / Ya. D. Fuchylo, A. A. Afonin, M. V. Sbytna // *Plant Varieties Studying and Protection*. — 2016. — № 4(33). — P. 18–25.
10. Угольников Е. В. Особенности репродуктивной биологии ив (*Salix* L.) в Саратовской области / Е. В. Угольникова, А. С. Кашин // *Бот. журн.* — 2013. — Т. 98. — № 6. — С. 723–732.
11. Афонин А. А. Изменчивость морфологии листовых пластинок при семенной репродукции ивы трехтычинковой / А. А. Афонин // *Международ. науч.-иссл. журн.* — 2018. — № 9(75). — Ч. 2. — С. 7–13.
12. Kuzovkina Y. A. Compilation of the Checklist for Cultivars of *Salix* L. (Willow) / Y. A. Kuzovkina // *HortScience*. — 2015. — N50. — P. 1608–1609.
13. Михалевская О. Б. Ритмы роста на разных этапах морфогенеза побега у древесных растений / О. Б. Михалевская // *Онтогенез*. — 2008. — Т. 39. — № 2. — С. 85–93.
14. Кренке Н. П. Теория циклического старения и омоложения растений и практическое её применение / Н. П. Кренке. — М.: Сельхозгиз, 1940. — 135 с.
15. Афонин А. А. Метамерная изменчивость листьев ивы трехтычинковой / А. А. Афонин, Е. Н. Самошкин // *Лесоведение*. — 2006. — № 2. — С. 5–10.
16. Романовский М. Г. Система вида у древесных растений / М. Г. Романовский, Р. В. Щекалев. — М.: КМК, 2014. — 211 с.
17. Афонин А. А. Цикличность среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой (*Salix alba* L.) в условиях Брянского лесного массива / А. А. Афонин, С. А. Зайцев // *ИВУЗ. Лесной журнал*. — 2016. — № 3 (351). — С. 66–76.

© Афонин Алексей Алексеевич (afonin.salix@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»