

УДК 582.623.2:57.034  
AGRIS F62

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/40/01>

## СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ СУТОЧНОГО ПРИРОСТА ОДНОЛЕТНИХ ПОБЕГОВ ИВЫ ШЕРСТИСТОПОБЕГОВОЙ

©Афонин А. А., SPIN-код: 6176-0399, ORCID: 0000-0002-9392-2527, д-р с.-х. наук,  
Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского  
г. Брянск, Россия, [afonin.salix@gmail.com](mailto:afonin.salix@gmail.com)

©Вихрова И. В., Брянский государственный университет имени академика  
И. Г. Петровского, г. Брянск, Россия, [vihrova.iriska@yandex.ru](mailto:vihrova.iriska@yandex.ru)

## STRUCTURAL ANALYSIS OF SEASONAL DYNAMICS OF DAILY GROWTH OF ANNUAL SHOOTS OF WOOLLY-STEMMED WILLOW

©Afonin A., SPIN-code: 6176-0399, ORCID: 0000-0002-9392-2527, Dr. habil,  
Ivan Petrovsky Bryansk State University, Bryansk, Russia, [afonin.salix@gmail.com](mailto:afonin.salix@gmail.com)

©Vikhrova I., Ivan Petrovsky Bryansk State University, Bryansk, Russia, [vihrova.iriska@yandex.ru](mailto:vihrova.iriska@yandex.ru)

*Аннотация.* Дана комплексная характеристика ивы шерстистопобеговой. Обоснована необходимость изучения закономерностей сезонной динамики суточного прироста однолетних побегов. В исследовании использован материал из модельной инбредно–клоновой популяции. Эмпирические данные обработаны с использованием методов структурно–гармонического анализа. Установлено, что сезонная динамика суточного прироста побегов носит циклический квазипериодический характер. Эмпирические ряды динамики на высшем уровне значимости аппроксимируются суммами элементарных гармоник с периодом колебаний 9,2 ... 92,0 сут. Выявлены высокоамплитудные гармоника с периодом колебаний 23,0 ... 92,0 сут и низкоамплитудные с периодом колебаний 9,2 ... 18,4 сут. На всех изученных побегах по фазе совпадают только четвертые гармоника с периодом колебаний 23,0 сут. Основной вклад в сезонную динамику прироста побегов вносят три высокоамплитудные гармоника, которые формируют два основных сигнала с периодами колебаний 23 и 36 сут. Остальные гармоника оказывают модулирующее влияние на сезонную динамику прироста побегов. Первые гармоника с периодом колебаний 92,0 сут определяют нелинейность сезонного тренда нарастания побегов. Высшие гармоника с периодом колебаний 9,2 ... 15,3 сут формируют результирующее квазициклическое колебание. Существенные межклоновые и внутриклоновые различия в ритмике суточного прироста однолетних побегов не выявлены. На этом основании предложены рекомендации по проведению агролесотехнических мероприятий в насаждениях ивы шерстистопобеговой.

*Abstract.* Given the complex characteristics of woolly–stemmed willow. The necessity of studying the regularities of seasonal dynamics of daily growth of annual shoots is substantiated. The study used material from the model inbred-clone population. Empirical data were processed using structural–harmonic analysis methods. It was found that the seasonal dynamics of the daily growth of shoots is cyclic quasi–periodic. Empirical series of dynamics at the highest level of significance are approximated by sums of elementary harmonics with a period of oscillation of 9.2

to 92.0 days. Revealed high-amplitude harmonic with the oscillation period of 23.0 to 92.0 day and low amplitude with a period of oscillation of 9.2 to 18.4 days. On all the studied shoots only the fourth harmonics coincide with the oscillation period of 23.0 days. The main contribution to the seasonal dynamics of shoot growth is made by three high-amplitude harmonics, which form two main signals with oscillation periods of 23 and 36 days. Other harmonics have a modulating effect on the seasonal dynamics of shoot growth. The first harmonics with a period of oscillation 92.0 days determine the nonlinearity of the seasonal trend of growth of shoots. Higher harmonics with a period of oscillation of 9.2 to 15.3 days form the resulting quasi-cyclic oscillation. Significant interclonal and intracolon differences in the rhythm of daily growth of annual shoots were not revealed. On this basis, the proposed recommendations for agroforestry-technical events in the plantings of woolly-stemmed willow.

*Ключевые слова:* *Salix dasyclados*, ива шерстистопобеговая, однолетние побеги, суточный прирост, сезонная динамика, биоритмы, биологические нелинейные осцилляторы, структурно-гармонический анализ, квазипериодические колебания, квазициклические колебания.

*Keyword:* *Salix dasyclados*, woolly-stemmed willow, annual shoots, daily growth, seasonal dynamics, biorhythms, biological nonlinear oscillators, structural-harmonic analysis, quasi-periodic oscillations, quasi-cyclic oscillations.

Ива шерстистопобеговая (*Salix dasyclados* Wimm. 1849) — общеизвестный представитель кустарниковых ив секции *Vimen* Dum. 1825 (*Viminella* Ser. 1824), подрода *Vetrix* Dum. 1825 [1]. Габитуально ива шерстистопобеговая представляет собой высокий аэроксильный кустарник (реже дерево) и характеризуется мощными однолетними прутьевидными побегами [2–3]. Хозяйственное значение ивы шерстистопобеговой определяется ее высокой продуктивностью [4]; в благоприятных условиях урожайность по абсолютно сухой лозе превышает 10 т/га×год [5]. Рассматриваемый вид — перспективный источник биомассы для нужд биоэнергетики [6–7]. Биофильтры на основе ивы шерстистопобеговой, благодаря ее склонности к образованию эктомикоризы в симбиозе с активными штаммами микроорганизмов, рекомендуются для очистки сточных вод и для фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами [8–9].

Ива шерстистопобеговая традиционно является объектом селекции, направленной на получение клонов, характеризующихся высокой продуктивностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды [10–11]. Широко известны культивары: *Angustifolia*, *Aquatica Gigantea*, *Aquatica Gigantea* Germany, India, *Katrin*, *Korso* [12].

Вопросы таксономии ивы шерстистопобеговой остаются дискуссионными. Традиционно данный таксон рассматривается как «чистый» вид с ареалом евроазиатского бореального типа — *Salix dasyclados* Wimm. 1849 (типовой экземпляр из Северной Европы) [1]. Азиатским географическим популяциям ранее был присвоен ранг вида: *S. burjatica* Nas. 1936, *S. jacutica* Nas. 1936 [13]. Некоторые исследователи [14] полагают, что рассматриваемый таксон должен именоваться *Salix gmelinii* Pall. (1789). Обсуждалась гибридное происхождение ивы шерстистопобеговой [15]. Установлено высокое сходство геномов ивы шерстистопобеговой и других видов секции *Vimen*, что указывает на возможность интрогрессивной гибридизации [16]. Экспериментальное изучение гибридизации ивы шерстистопобеговой с другими ивами затруднено из-за возможности апомиксиса [17].

Систематика ивы шерстистопобеговой осложняется ее цитогенетическим полиморфизмом. В литературе приводятся хромосомные числа, равные 76 (тетраплоид,  $2n=4x$ ) и 114 (гексаплоид,  $2n=6x$ ) [18], либо только 114 (гексаплоид,  $2n=6x$ ) [19]. Имеются данные, указывающие на существование диплоидов ( $2n=38$ ) [16] и триплоидов ( $2n=57$ ) [20].

При проектировании устойчивых высокопродуктивных насаждений необходимо всесторонне учитывать взаимодействия «генотип–среда» [21–23]. В частности, для создания плантаций интенсивного типа необходимо иметь коллекции культиваров с разными ритмами нарастания побегов, поскольку «воздействия на растения (удобрение, полив и т. д.) дают наибольшую эффективность, если они приурочиваются именно к переломным этапам развития организма» [24, с. 42]. Поэтому возникает проблема специфичности биоритмов, определяющие хронологическую изменчивость признаков [25–26], включая изменчивость признаков в онтогенезе [27]. Однако сезонная динамика морфо–физиологических и биохимических признаков ивы шерстистопобеговой изучена недостаточно [28–30].

Цель данного исследования: выявление закономерностей сезонной динамики суточного прироста однолетних побегов ивы шерстистопобеговой с использованием технологий структурно–гармонического анализа.

#### Материал и методы

Материал для данного исследования был собран в инбредно-клоновой популяции *S. dasyclados*, культивируемой в салицетуме Брянского государственного университета. История создания данной модельной популяции описана в наших предыдущих работах [31]. Использование генетически выровненного материала, культивируемого в однородных условиях, позволяет уменьшить влияние флуктуирующих факторов и выявить общие закономерности сезонной динамики суточного прироста побегов [32].

В 2018 г. популяционно–клоновое насаждение *S. dasyclados* состояло из восьми клонов (пронумерованных по порядку: *da 1* ... *da 8*) по три раметы (пронумерованных в пределах каждого клона, например: *da 11*, *da 12*, *da 13* ...). Каждая рамета формировалась в один побег.

Для получения эмпирических исходных данных использовали многократно апробированную методологию изучения прироста древесных растений [33]. Наблюдения проводились в течение вегетационного периода 2018 г. — с 15.05.2018 по 19.08.2018 (в дальнейшем использовался краткий формат записи дат 15.5, 19.5 ... 19.8). Каждые 4 суток производили замеры длины побегов:  $L$ , см. Каждому наблюдению был присвоен порядковый номер  $k = 0, 1, 2, \dots, 25$ . Календарным датам наблюдений также были присвоены номера:  $t = 0, 4, 8, \dots, 96$ .

На основании результатов измерений длины побегов вычисляли их текущий суточный прирост в интервале 8 сут (1):

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

где:  $\Delta L(t)$  — текущий суточный прирост;  $L$  — результат измерения длины побегов, см;  $k$  — порядковые номера наблюдений,  $t$  — пронумерованные даты наблюдений.

В итоге были получены выровненные эмпирические ряды суточного прироста побегов  $\Delta L(t)$  в период с 19.5 ( $t = 4$ ) по 15.8 ( $t = 92$ ).

Далее для каждого побега вычисляли среднесуточный прирост  $\Delta L_{am}$  на протяжении всего периода наблюдений (2):

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

Для каждой даты ( $t = 4 \dots 92$ ) вычисляли отклонения  $dL(t)$  в виде разности между эмпирическими значениями текущего суточного прироста  $\Delta L(t)$  и среднесуточным приростом побегов  $\Delta L_{\text{AM}}$ . Сезонный тренд  $\Delta L(t)$  для каждого побега аппроксимировали уравнениями линейной регрессии. Далее вычисляли эмпирические ряды сезонной динамики отклонений фактических значений суточного прироста побегов от расчетных значений сезонного тренда:  $dL(t)_{\text{act}}$ . Для выявления общих закономерностей сезонной динамики  $dL(t)$  вычисляли средние эмпирические ряды  $dL(t)_{\text{am}}$  для выборки.

Эмпирические ряды динамики  $dL(t)_{\text{act}}$  каждого побега —  $dL(t)_{\text{calc}}$  — аппроксимировали суммами элементарных синусоидальных гармоник  $h$  с порядковым номером  $n$ . Предварительно для каждого побега вычислялись основные параметры гармоник: период колебаний ( $\tau_n$ , сут), амплитуда колебаний ( $A_n$ ), и начальная фаза ( $\varphi_n = 0 \dots 2\pi$ ). Период колебаний первой гармоники был принят равным  $\tau_1 = 92$  сут. Путем сложения элементарных гармоник получали расчетные ряды. Достоверность аппроксимации эмпирических рядов каждой гармоникой и суммой гармоник определяли с использованием  $F$ -критерия Фишера. Оценку вклада элементарных гармоник в фактическую сезонную динамику суточного прироста побегов —  $H^2$ , % — производили с использованием сумм квадратов  $SS$  отклонений  $dL(t)$  от расчетных значений.

Подробное описание изложенного алгоритма гармонического анализа дано в наших предыдущих работах [34–35].

### Результаты

В первой половине вегетационного периода на многих побегах наблюдались нарушения роста вплоть до отмирания вершины побегов при поражении стеблевыми вредителями. Поэтому из 600 возможных измерений было выполнено только 427.

Эмпирические ряды динамики  $\Delta L(t)_{\text{act}}$  показаны на Рисунке 1.

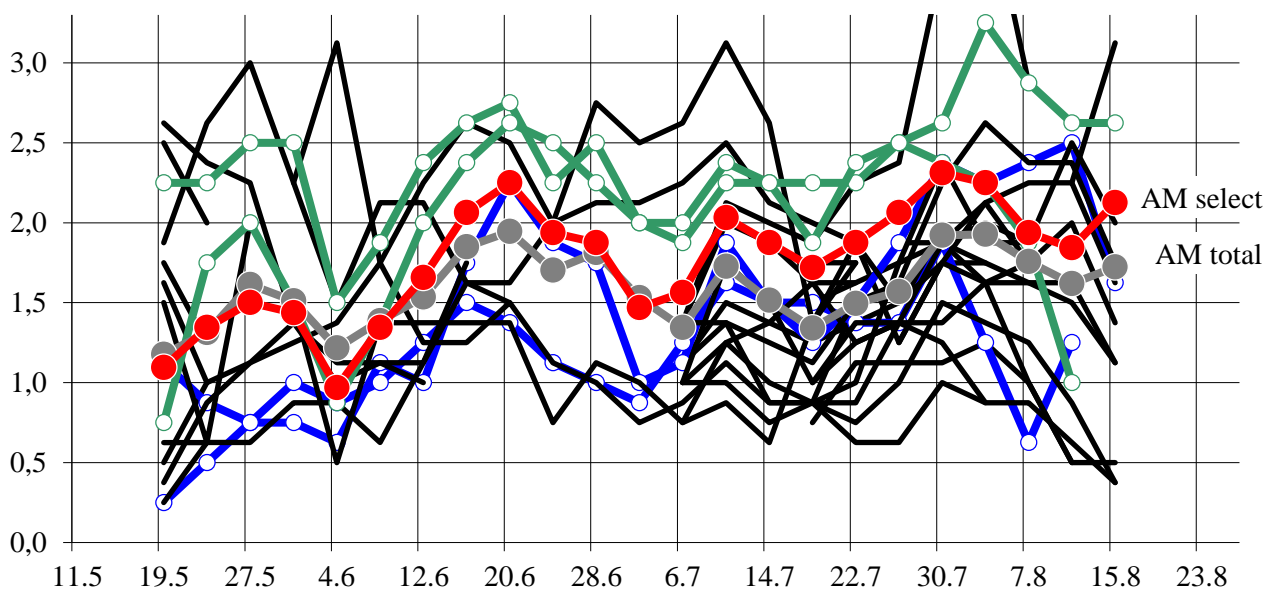


Рисунок 1. Эмпирические ряды сезонной динамики суточного прироста побегов: по оси абсцисс расчетные даты, по оси ординат суточный прирост побегов  $\Delta L(t)_{\text{act}}$ , см/сут. Побеги  $da\ 31$ ,  $da\ 32$  выделены синим цветом, побеги  $da\ 82$ ,  $da\ 83$  выделены зеленым цветом, остальные побеги без выделения. Приведены средние ряды динамики для всех побегов ( $AM_{\text{total}}$ ) и побегов, выбранных для анализа ( $AM_{\text{select}}$ ).

Визуальный анализ эмпирических рядов динамики  $\Delta L(t)_{act}$  показал, что сезонная динамика суточного прироста побегов носит циклический характер.

Для окончательного анализа были отобраны самые длинные побеги четырех рамет (по две раметы двух клонов), которые показали устойчивый рост на протяжении всего периода наблюдений: *da* 31 ( $L_{max}=142$  см;  $\Delta L_{am}=1,47$  см/сут), *da* 32 ( $L_{max}=116$  см;  $\Delta L_{am}=1,20$  см/сут), *da* 82 ( $L_{max}=231$  см;  $\Delta L_{am}=2,38$  см/сут), *da* 83 ( $L_{max}=177$  см;  $\Delta L_{am}=1,95$  см/сут). Такой выбор позволил выявить внутри- и межклоновую специфику биоритмов.

Визуальный анализ среднего ряда  $\Delta L(t)_{act}$  побегов, выбранных для анализа ( $AM_{select}$ ), позволил выявить четыре максимума и четыре минимума. Максимумы с датами 27,5, 20,6, 10,7 и 30,7 ... 3,8 разделены периодами в 24, 20 и 24 сут, а минимумы с датами 4,6, 2,7 ... 6,7, 18,7, 11,8 разделены периодами в 30, 14 и 24 сут. Таким образом, сезонная динамика суточного прироста выбранных побегов носит квазипериодический характер.

Для выявления основных ритмов, определяющих цикличность сезонной динамики суточного прироста побегов каждый эмпирический ряд  $dL(t)_{act}$  разложили на элементарные гармоники  $h_1 \dots h_{10}$ . Путем сложения гармоник получили расчетные ряды динамики  $dL(t)_{calc}$ . Достоверность такой аппроксимации оказалась исключительно высокой:  $F_{calc}=57,48 \dots 81,42$  ( $F_{crit}=3,92$  при  $P < 0,001$ ).

Для всех побегов были построены амплитудно-частотные (АЧ) и фазово-частотные (ФЧ) спектрограммы расчетной динамики  $dL(t)$  в координатах  $n; A$  и  $n; \sin \varphi$ .

Амплитудно-частотная спектрограмма показана на Рисунке 2.

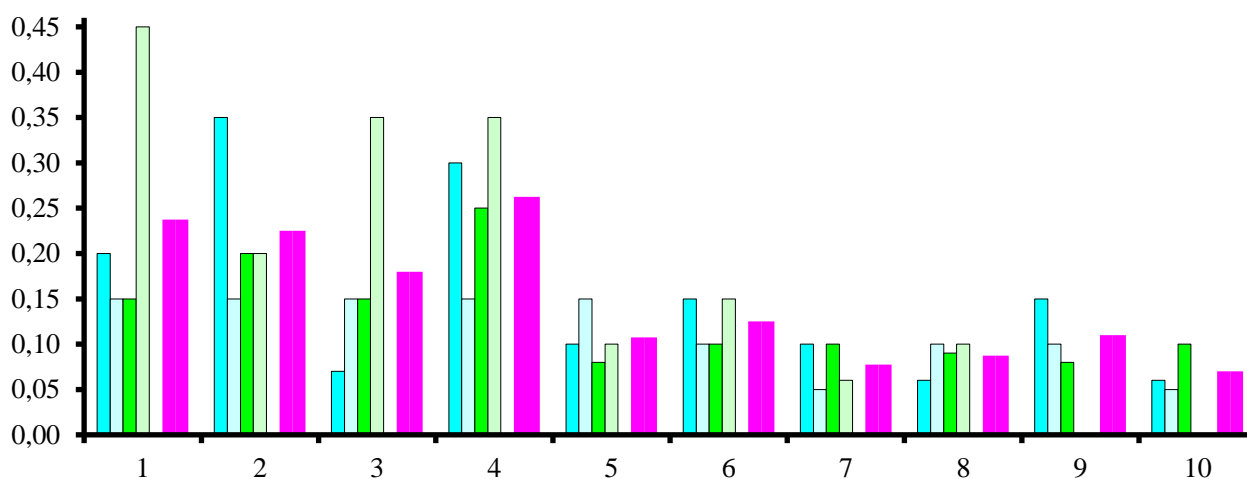


Рисунок 2. Амплитудно-частотная спектрограмма сезонной динамики суточного прироста побегов. По оси абсцисс номера гармоник, по оси ординат амплитуда колебаний, см. Спектры побегов выделены разными цветами, средний спектр — розовой заливкой.

Фазово-частотная спектрограмма показана на Рисунке 3.

Анализ АЧ-спектрограммы показал, что в ряду элементарных гармоник выделяются низшие высокоамплитудные гармоники  $h_1 \dots h_4$  ( $\tau=23,0 \dots 92,0$  сут,  $A_{am} = 0,18 \dots 0,26$ ). Высшие гармоники —  $h_5 \dots h_{10}$  ( $\tau = 9,20 \dots 18,4$  сут) характеризуются низкими амплитудами:  $A_{am}=0,07 \dots 0,13$ . При этом гармоники  $h_9$  и  $h_{10}$  выявлены не для всех побегов. Результаты фазово-частотного анализа не столь очевидны. На ФЧ-спектрограмме однозначно выделяются четвертая гармоника с близкими значениями начальных фаз для всех четырех побегов и пятая гармоника, в которой колебания побегов рамет разных клонов находятся в противофазе. Для остальных гармоник какие-либо закономерности не выявлены.



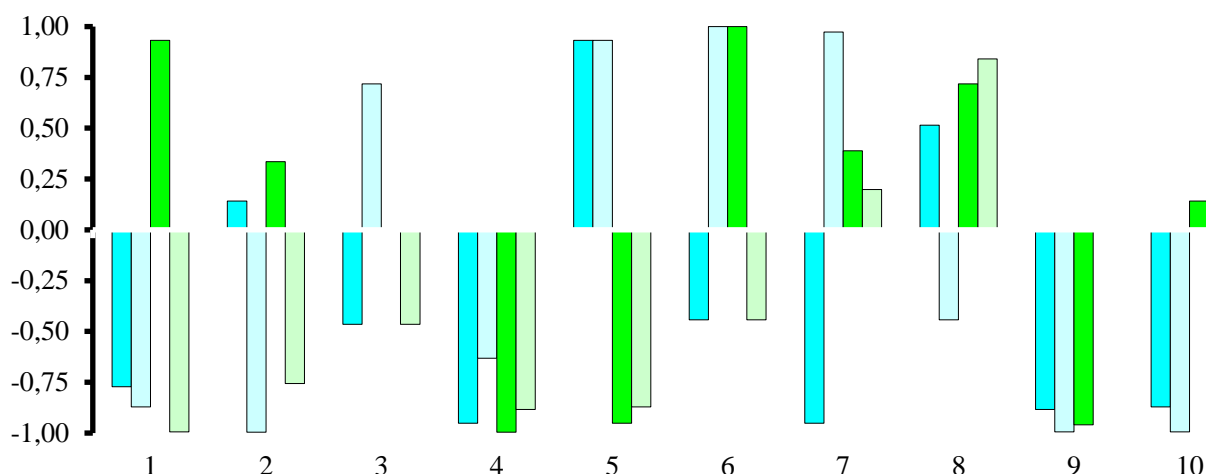


Рисунок 3. Фазово–частотная спектрограмма сезонной динамики суточного прироста побегов. По оси абсцисс номера гармоник, по оси ординат синус начальной фазы. Спектры побегов выделены разными цветами.

Первые гармоники ( $\tau_1=92,0$  сут) для большинства побегов определяют увеличение  $dL$  в первой половине лета (примерно до 16,6) и его снижение во второй половине лета (примерно после 10,7). Однако первые гармоники рамет клона *da 8* находятся в противофазе относительно друг друга: на побеге раметы *da 82* к середине лета суточный прирост снижается. Для побегов рамет *da 31*, *da 32* и *da 81* вклад первой гармоники в сезонную динамику прироста побегов составил  $H^2=11 \dots 15\%$ , а для побега раметы *da 82* –  $H^2=39\%$ . Вторые и третьи гармоники ( $\tau_2=46,0$  сут,  $\tau_3=30,7$  сут) определяют максимумы суточного прироста побегов 16,6 ... 24,6 и 26,7 ... 3,8, а также минимум 10,7. В минимум 4,6 вторые и третьи гармоники вносят незначительный вклад. При сложении рассматриваемых гармоник возникает колебание с периодом  $\tau_{2+3}=36$  сут. Это результирующее колебание вносит основной вклад в сезонную динамику прироста побегов:  $H^2=30 \dots 39\%$ . Четвертые гармоники ( $\tau_4 = 23,0$  сут) определяют максимумы суточного прироста побегов 27,5, 16,6, 10,7, 3,8 и минимумы 4,6 ... 8,6, 28,6, 22,7. В период с 2,7 по 18,7 они находятся в противофазе с результирующим колебанием вторых и третьих гармоник. Вклад четвертых гармоник в сезонную динамику прироста побегов достаточно высокий:  $H^2=15 \dots 30\%$ . Пятые гармоники ( $\tau_5=18,4$  сут) характеризуют разные клоны. Вследствие своей низкой амплитуды они оказывают модулирующее влияние на четвертые гармоники. В середине лета на побегах клона *da 3* они совпадают по фазе с колебаниями *h4* и усиливают максимумы 20,6, 10,7 и 30,7, а на побегах клона *da 8* они находятся в противофазе с колебаниями *h4* и уменьшают их влияние на сезонную динамику прироста побегов. При сложении высших гармоник *h6 \dots h10* ( $\tau=9,2 \dots 15,3$  сут) с низкой амплитудой возникает результирующее квазициклическое колебание. В некоторой степени, высшие гармоники усиливают минимум в начале лета (4,6). Однако наиболее заметно их усиливающее влияние на максимумы в середине половины лета (28,6 и 10,7) с периодичностью 12 сут. Вклад высших гармоник в сезонную динамику прироста варьируется в широких пределах:  $H^2=9 \dots 24\%$ , включая 19 ... 24% для клона *da 3* и 9 ... 21% для клона *da 8*.

#### Обсуждение

Сезонная динамика суточного прироста побегов в изученной модельной инбредно-клоновой популяции ивы шерстистопобеговой носит циклический квазипериодический

характер. Таким образом, нарастающие побеги представляют собой биологические нелинейные осцилляторы [36].

Вклад гармоник различного порядка в результирующий ритм суточного прироста побегов определяется как их амплитудами, так и начальными фазами. Основной вклад в сезонную динамику прироста побегов вносят высокоамплитудные гармоники: прежде всего, вторая и третья (с периодом результирующего колебания  $\tau_{2+3} \approx 36$  сут), а также четвертая (с периодом колебаний  $\tau = 23$  сут). Влияние этих гармоник на сезонную динамику прироста побегов характеризует модельную популяцию в целом, т.е. не связано с внутри- и межклоновой спецификой биоритмов. Прочие гармоники — как низшие, так и высшие — оказывают модулирующее влияние на сезонную динамику прироста побегов. Первые гармоники (с периодом колебаний  $\tau = 92$  сут) определяют нелинейность сезонного тренда нарастания побегов. Их влияние на сезонную динамику прироста побегов связано с внутрикловыми различиями. Высшие низкоамплитудные гармоники влияют на сезонную динамику прироста побегов различным образом. Пятые гармоники (с периодом колебаний  $\tau \approx 18$  сут) характеризуют разные клоны: они могут как усиливать, так и уменьшать отклонения среднего прироста побегов от нуля. Влияние остальных высших гармоник  $h_6 \dots h_{10}$  ( $\tau \approx 9 \dots 15$  сут) на сезонную динамику суточного прироста побегов связано с внутрикловыми различиями. Однако в некоторые периоды развития побегов результирующие ритмы высших гармоник разных побегов совпадают по фазе, что приводит к заметному влиянию гармоник  $h_6 \dots h_{10}$  на сезонную динамику суточного прироста побегов в выборке. Таким образом, по результатам наших наблюдений, сезонная динамика суточного прироста побегов ивы шерстистопобеговой носит видоспецифичный характер.

Полученные нами результаты согласуются с теоретическими положениями современной биоритмологии [37] и могут быть использованы при разработке мер по интенсификации культур ивы шерстистопобеговой. На этом основании проведение агролесотехнических мероприятий в насаждениях ивы шерстистопобеговой рекомендуется привязывать к периодам повышения суточного прироста побегов: в частности, в условиях наших наблюдений с 8 июня по 16 июня, с 28 июня по 10 июля, с 22 июля по 3 августа.

#### Список литературы:

1. Skvortsov A. K. Willows of Russia and Adjacent Countries. Taxonomical and Geographical Revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.
2. Афонин А. А. Ивы Брянского лесного массива: проблема повышения продуктивности и устойчивости насаждений и пути ее решения. Брянский гос. ун-т, 2005. 172 с. Деп. в ВИНИТИ 15.09.05, №1227-В2005. Библиогр. указатель «Депонир. науч. работы». №11. 2005.
3. Недосеко О. И. Бореальные формы ив подродов *Salix* и *Vetrix*: онтоморфогенез и жизненные формы. Нижний Новгород: НГУ, 2014. 426 с.
4. Горобец А. И. Продуктивность микроротационной плантации ивы на выщелоченном черноземе // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. №4 (20). С. 26-33. DOI: 10.12737/17399.
5. Логинова Л. А. Продуктивность и энергетический потенциал ивовых ценозов на примере Воронежской области: автореф. дисс ... канд. биол. наук. Воронеж, 2010. 19 с.
6. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило О. Я., Літвін В. М. Створення та вирощування енергетичних плантацій верб і тополь: Науково-методичні рекомендації. Киев: Логос, 2009. 80 с.
7. Афонин А. А. Булавинцева Л. И. Эколого-генетические проблемы «зеленой» энергетики // Биология в школе. 2011. №6. С. 16-24.

8. Hryniewicz K., Baum C. Selection of ectomycorrhizal willow genotype in phytoextraction of heavy metals // *Environmental Technology*. 2013. 34 (2). P. 225-230. DOI: 10.1080/09593330.2012.689369.
9. Złoch M., Kowalkowski T., Tyburski J., Hryniewicz K. Modeling of phytoextraction efficiency of microbially stimulated *Salix dasyclados* L. in the soils with different speciation of heavy metals // *International Journal of Phytoremediation*. 2017. V. 19. №12. P. 1150-1164. DOI: 10.1080/15226514.2017.1328396.
10. Царев А. П., Погиба С. П., Тренин В. В. Селекция и репродукция лесных древесных пород. М.: Логос, 2003. 503 с.
11. Karp A., Hanley S. J., Trybush S. O., Macalpine W., Pei M., Shield I. Genetic improvement of willow for bioenergy and biofuels free access // *Journal of integrative plant biology*. 2011. V. 53. №2. P. 151-165. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2010.01015.x.
12. Kuzovkina Y. A. Compilation of the checklist for cultivars of *Salix* L. (Willow) // *HortScience*. 2015. V. 50. №11. С. 1608-1609. DOI: 10.21273/hortsci.50.11.1608.
13. Назаров М. И. *Salix* / Флора СССР. Т. 5. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936. С. 24-216, 707-713.
14. Belyaeva I., Sennikov A. Typification of Pallas' names in *Salix* // *Kew Bulletin*. 2008. V. 63. №2. P. 277-287.
15. Pohjonen V. *Salix* "Aquatiga Gigantea" and *Salix x dasyclados* Wimm. in biomass willow research // *Silva Fennica*. 1987. V. 21. №2. P. 109-122.
16. Fogelqvist J., Verkhozina A. V., Katyshev A. I., Pucholt P., Dixelius C., Rönnerberg-Wästljung A. C., Berlin S. Genetic and morphological evidence for introgression between three species of willows // *BMC evolutionary biology*. 2015. V. 15. №1. P. 193. DOI: 10.1186/s12862-015-0461-7.
17. Сукачев В. Н. Из работ по селекции ивы // Селекция и интродукция быстрорастущих древесных пород. Л.: Гослестехиздат, 1934. С. 51-85.
18. Håkansson A. Chromosome numbers and meiosis in certain *Salices* // *Hereditas*. 1955. V. 41. №3-4. P. 454-482.
19. Ronnberg-Wästljung A. C., Tsarouhas V., Semirikov V., Lagercrantz U. A genetic linkage map of a tetraploid *Salix viminalis* x *S. dasyclados* hybrid based on AFLP markers // *Forest Genetics*. 2003. V. 10. №3. P. 185-194.
20. Neumann A., Polatschek A. Cytotaxonomischer Beitrag zur Gattung *Salix* // *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*. 1972. V. 76. P. 619-633.
21. Heinsoo K., Merilo E., Petrovits M., Koppel A. Fine root biomass and production in a *Salix viminalis* and *Salix dasyclados* plantation/peenjuurte biomass ja produktsioon paju (*Salix viminalis* ning *Salix dasyclados*) energiavosas // *Estonian Journal of Ecology*. 2009. V. 58. №1. P. 27-38. DOI: 10.3176/eco.2009.1.03.
22. Berlin S., Hallingbäck H. R., Beyer F., Nordh N. E., Weih M., Rönnerberg-Wästljung A. C. Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years // *Annals of botany*. 2017. V. 120. №1. P. 87-100. DOI: 10.1093/aob/mcx029.
23. Фучило Я. Д., Сбытна М. В., Зелинский Б. В. Рост и продуктивность некоторых сортов энергетической ивы в зависимости от степени увлажненности почвы // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14. №3. С. 323-327. DOI: 10.21498/2518-1017.14.3.2018.145310.
24. Кренке Н. П. Теория циклического старения и омоложения растений и практическое ее применение. М.: Сельхозгиз, 1940. 135 с.



25. Агулова Л. П. Хронобиология. Томск: Томский гос. ун-т, 2013. 260 с.
26. Малоземов О. Ю. Биоритмология: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 144 с.
27. Тиходеев О. Н. Изменчивость и ее формы: дифференциальный подход // Труды Зоологического института РАН. 2018. Т. 322. №2. С. 185-201. DOI: 10.31610/trudyzin/2018.322.2.185.
28. Klõšeiko J., Mandre M. Seasonal dynamics of sugars in the leaves of *Salix dasyclados* and the effect of soil treatment with cement dust // Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol. 2001. V. 50. P. 279-291.
29. Кайбейнен Э. Л. Параметры световой кривой фотосинтеза у *Salix dasyclados* и их изменение в ходе вегетации // Физиология растений. 2009. Т. 56. №4. С. 490-499.
30. Иванова Н. А., Костюченко Р. Н. Эколого-физиологические механизмы адаптации некоторых видов ив в различных условиях обитания на территории Среднего Приобья. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманитар. ун-та, 2011. 163 с.
31. Афонин А. А. Амплитудно-частотный анализ динамики нарастания однолетних побегов ивы шерстистопобеговой // Научная жизнь. 2018. №9. С. 93-101.
32. Романовский М. Г., Щекалев Р. В. Система вида у древесных растений. М.: КМК, 2014. 211 с.
33. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 100 с.
34. Афонин А. А., Зайцев С. А. Цикличность среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой (*Salix alba* L.) в условиях Брянского лесного массива // ИВУЗ. Лесной журнал. 2016. №3 (351). С. 66-76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.66.
35. Афонин А. А. Структурный анализ ритмов развития однолетних побегов ивы трехтычинковой // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №1. С. 22-32.
36. Алпатов А. М. Циркадианный осциллятор // Хронобиология и хрономедицина. М.: Триада-Х, 2000. С. 65-82.
37. Ежов С. Н. Основные концепции биоритмологии // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. 2008. №2 (46). С. 104-121.

#### References:

1. Skvortsov, A. K. (1999). Willows of Russia and adjacent countries: taxonomical and geographical revision. University of Joensuu, 307.
2. Afonin, A. A. (2005). Ivy Bryanskogo lesnogo massiva: problema povysheniya produktivnosti i ustojchivosti nasazhdenij i puti ee resheniya. Bryanskij gos. un-t. 172. *Dep. v VINITI 15.09.05, №1227-V2005. Bibliogr. Ukazatel' "Deponir. nauch. Raboty"*, (11). (in Russian).
3. Nedoseko, O. I. (2014). Boreal'nye formy iv podrodov *Salix* i *Vetrix*: ontomorfogenez i zhiznennye formy: monografiya. Nizhnij Novgorod, NGU, 426. (in Russian).
4. Gorobets, A. I. (2015). Productivity of willow plantations microrotational on leached chernozem. *Forestry Engineering Journal*, 5(4). 26-33. (in Russian).
5. Loginova, L. A. (2010) Produktivnost' i energeticheskii potencial ivovykh tsenozov na primere Voronezhskoi oblasti. Autoref. Ph.D. diss. Voronezh, 19. (in Russian).
6. Fuchilo, Ya. D., Sbitna, M. V., Fuchilo, O. Ya., & Litvin, V. M. (2009). Stvorenniya ta viroshchuvannya energetichnikh plantacii verb i topol': Naukovo-metodichni rekomendacii. Kiev, Logos, 80. (in Ukrainian).
7. Afonin, A. A. & Bulavintceva L. I. (2011). Ekologo-geneticheskie problemy "zelenoi" energetiki. *Biologiya v shkole*, (6), 16-24. (in Russian).

8. Hryniewicz, K., & Baum, C. (2013). Selection of ectomycorrhizal willow genotype in phytoextraction of heavy metals. *Environmental Technology*, 34(2), 225-230. doi:10.1080/09593330.2012.689369.
9. Złoch, M., Kowalkowski, T., Tyburski, J., & Hryniewicz, K. (2017). Modeling of phytoextraction efficiency of microbially stimulated *Salix dasyclados* L. in the soils with different speciation of heavy metals. *International Journal of Phytoremediation*, 19(12), 1150-1164. doi:10.1080/15226514.2017.1328396.
10. Tsarev, A. P., Pogiba, S. P., & Trenin V. V. (2003). Seleksiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod. Moscow, Logos, 503. (in Russian).
11. Karp, A., Hanley, S. J., Trybush, S. O., Macalpine, W., Pei, M., & Shield, I. (2011). Genetic improvement of willow for bioenergy and biofuels free access. *Journal of integrative plant biology*, 53(2), 151-165. doi:10.1111/j.1744-7909.2010.01015.x.
12. Kuzovkina, Y. A. (2015). Compilation of the Checklist for Cultivars of *Salix* L. (Willow). *HortScience*, 50(11), 1608-1609. doi:10.21273/hortsci.50.11.1608.
13. Nazarov, M. I. (1936). *Salix*. Flora SSSR. 5. Moscow-Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 24-216; 707-713. (in Russian).
14. Belyaeva, I., & Sennikov, A. (2008). Typification of Pallas' names in *Salix*. *Kew Bulletin*, 63(2), 277-287.
15. Pohjonen, V. (1987). *Salix* "Aquatiga Gigantea" and *Salix* x *dasyclados* Wimm. in biomass willow research. *Silva Fennica*, 21(2), 109-122.
16. Fogelqvist, J., Verkhozina, A. V., Katyshev, A. I., Pucholt, P., Dixelius, C., Rönnerberg-Wästljung, A. C., ... & Berlin, S. (2015). Genetic and morphological evidence for introgression between three species of willows. *BMC evolutionary biology*, 15(1), 193. doi:10.1186/s12862-015-0461-7.
17. Sukachev, V. N. (1934). Iz rabot po selektsii ivy. Seleksiya i introduktsiya bystrorastushchikh drevesnykh porod. Leningrad, Goslestekhizdat, 51-85. (in Russian).
18. Håkansson, A. (1955). Chromosome numbers and meiosis in certain *Salices*. *Hereditas*, 41(3-4), 454-482.
19. Ronnberg-Wastljung, A. C., Tsarouhas, V., Semirikov, V., & Lagercrantz, U. (2003). A genetic linkage map of a tetraploid *Salix viminalis* x *S. dasyclados* hybrid based on AFLP markers. *Forest Genetics*, 10(3), 185-194.
20. Neumann, A., & Polatschek, A. (1972). Cytotaxonomischer beitrag zur gattung *Salix*. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 76, 619-633.
21. Heinsoo, K., Merilo, E., Petrovits, M., & Koppel, A. (2009). Fine root biomass and production in a *Salix viminalis* and *Salix dasyclados* plantation/peenjuurte biomass ja produktsioon paju (*Salix viminalis* ning *Salix dasyclados*) energiavosas. *Estonian Journal of Ecology*, 58(1), 27-38. https://doi:10.3176/eco.2009.1.03.
22. Berlin, S., Hallingbäck, H. R., Beyer, F., Nordh, N. E., Weih, M., & Rönnerberg-Wästljung, A. C. (2017). Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years. *Annals of botany*, 120(1), 87-100. doi:10.1093/aob/mcx029.
23. Fuchilo Ya. D., Sbytna M. V., & Zelinskij B. V. (2018). Growth and productivity of some cultivars of energy willow, depending on the degree of soil moisture. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(3), 323-327. doi:10.21498/2518-1017.14.3.2018.145310. (in Ukrainian).
24. Krenke, N. P. (1940). Teoriya tsiklicheskogo stareniya i omolozheniya rastenii i prakticheskoe eyo primenenie. Moscow, Sel'hozgiz. 135.
25. Agulova, L. P. (2013). Hronobiologiya: ucheb. posobie. Tomsk, Tomskii gos. un-t, 260. (in Russian).

26. Malozyomov, O. Yu. (2016). Bioritmologiya: ucheb. posobie. Ekaterinburg, UGLTU, 144. (in Russian).
27. Tihodeev, O. N. (2018). Izmenchivost' i ee formy: differencial'nyj podhod. *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN*, 322(2), 185-201. doi:10.31610/trudyzin/2018.322.2.185. (in Russian).
28. Klošeiko, J., & Mandre, M. (2001). Seasonal dynamics of sugars in the leaves of *Salix dasyclados* and the effect of soil treatment with cement dust. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.*, 50(4), 279-291.
29. Kajbeyajnen, E. L. (2009). Parametry svetovoi krivoi fotosinteza u *Salix dasyclados* i ikh izmenenie v hode vegetatsii. *Fiziologiya rastenii*, 56(4), 490-499. (in Russian).
30. Ivanova, N. A., & Kostyuchenko, R. N. (2011). Ekologo-fiziologicheskie mekhanizmy adaptatsii nekotorykh vidov iv v razlichnykh usloviyakh obitaniya na territorii Srednego Priob'yaa. Nizhnevartovsk, Izd-vo Nizhnevart. gumanit. un-ta, 163. (in Russian).
31. Afonin, A. A. (2018). Amplitudno-chastotnyi analiz dinamiki narastaniya odnoletnikh pobegov ivy sherstistopobegovoi. *Nauchnaya zhizn*, (9), 93-101. (in Russian).
32. Romanovskii, M. G., & Shchekalev, R. V. (2014). Sistema vida u drevesnyh rastenii. Moscow, KMK, 211. (in Russian).
33. Molchanov, A. A., & Smirnov, V. V. (1967). Metodika izucheniya prirosta drevesnykh rastenii. Moscow, Nauka, 100. (in Russian).
34. Afonin, A. A., & Zaitsev, S. A. (2016). Tsiklichnost' srednesutochnogo radial'nogo prirosta nesushchikh pobegov ivy beloï (*Salix alba* L.) v usloviyakh Bryanskogo lesnogo massiva. *IVUZ. Lesnoi zhurnal*, (351), 66-76. doi:10.17238/issn0536-1036.2016.3.66. (in Russian).
35. Afonin, A. (2019). Structural analysis of the rhythms of development of annual shoots of almond willow. *Bulletin of Science and Practice*, 5(1), 22-32. (in Russian).
36. Alpatov, A. M. (2000). Tsirkadianni oscillyator. *Hronobiologiya i hronomedicina*. Moscow, Triada-H, 65-82. (in Russian).
37. Ezhov, S. N. (2008). Osnovnye kontseptsii bioritmologii. *The bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management*, (2), 104-121. (in Russian).

Работа поступила  
в редакцию 20.02.2019 г.

Принята к публикации  
24.02.2019 г.

Ссылка для цитирования:

Афонин А. А., Вихрова И. В. Структурный анализ сезонной динамики суточного прироста однолетних побегов ивы шерстистопобеговой // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №3. С. 11-21. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/40/01>.

Cite as (APA):

Afonin, A., & Vikhrova, I. (2019). Structural analysis of seasonal dynamics of daily growth of annual shoots of woolly-stemmed willow. *Bulletin of Science and Practice*, 5(3), 11-21. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/40/01>. (in Russian).