

УДК 582.623.2 + 57.034

DOI 10.21685/2307-9150-2019-4-3

А. А. Афонин

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА НАРАСТАНИЯ ПОБЕГОВ ИВЫ КОРЗИНОЧНОЙ (*SALIX VIMINALIS*)

Аннотация.

Актуальность и цели. *Salix viminalis* (ива корзиночная) – высокопродуктивный вид ив, который широко используется для выращивания на различного рода плантациях. Повышение эффективности энергетических плантаций требует интенсификации производства биомассы. Обоснована необходимость выявления хронобиологических закономерностей нарастания побегов ивы корзиночной для разработки мероприятий, направленных на повышение продуктивности. Цель – выявить закономерности сезонной динамики суточного прироста побегов ивы корзиночной. Объект – модельная популяция ивы корзиночной, созданная путем регулярного инбридинга в культуре.

Материалы и методы. Материал – растущие однолетние побеги. Методы: селекционный, сравнительно-морфологический, компьютерные технологии анализа.

Результаты. Проанализирована сезонная динамика суточного прироста побегов ΔL . Сезонные тренды хронологической изменчивости суточного прироста побегов аппроксимируются уравнениями линейной регрессии. Отклонения фактических значений суточного прироста от линейной регрессии dL носят циклический характер. Ряды сезонной динамики представляют собой квазигармонические колебания с переменным периодом 15...21 сут. Эмпирические ряды динамики dL с высокой надежностью аппроксимируются суммами гармоник. Вклад элементарных гармоник в общую сезонную динамику отклонений суточного прироста от линейной регрессии определяется их амплитудой.

Выводы. Основной вклад в структуру сезонной динамики суточного прироста побегов вносят высокоамплитудные низшие гармоники с периодом колебания 36 и 54 сут. При их суммировании образуется квазипериодическая последовательность с переменным периодом колебаний 30...40 сут. Сумма гармоник с периодом колебания 15...22 сут оказывает существенное модулирующее влияние на сезонную динамику суточного прироста побегов, образуя квазипериодическую последовательность с переменным инфраничным периодом колебаний 18...20 сут. Динамика нарастания побегов не связана с индивидуальными особенностями растений. Выявленные закономерности рекомендуются использовать как теоретическую базу для интенсификации производства биомассы ивы корзиночной.

© Афонин А. А., 2019. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

Ключевые слова: ива корзиночная, *Salix viminalis*, энергетические плантации, однолетние побеги, суточный прирост, цикличность сезонной динамики, эндогенные ритмы.

A. A. Afonin

SEASONAL DYNAMICS OF BASKET WILLOW SHOOTS GROWTH (*SALIX VIMINALIS*)

Abstract.

Background. *Salix viminalis* (basket willow) is a highly productive species of willow, which is widely used for cultivation on various plantations. Increasing the efficiency of energy plantations requires intensification of biomass production. Substantiated the need to identify chronobiological patterns of shoots growth of basket willow for the development of measures aimed at improving productivity. Objective: to identify patterns of seasonal dynamics of daily shoots growth of basket willow. Object – a model population of basket willow, created by regular inbreeding in culture.

Materials and methods. Material – growing annual shoots. Methods: breeding, comparative morphological, computer technology analysis.

Results. Analyzed the seasonal dynamics of the daily shoot growth ΔL . Seasonal trends of chronological variability of daily shoots growth are approximated by linear regression equations. Deviations of the actual values of the daily increase from the linear regression dL are cyclical. The series of seasonal dynamics are quasi-harmonic oscillations with a variable period of 15–21 days. Empirical time series dL with high reliability are approximated by sums of harmonics. The contribution of elementary harmonics to the overall seasonal dynamics of deviations of daily growth from linear regression is determined by their amplitude.

Conclusions. The main contribution to the structure of seasonal dynamics of daily growth of shoots is made by high-amplitude lower harmonics with a period of oscillation of 36 and 54 days. Their summation forms a quasi-periodic sequence with a variable oscillation period of 30–40 days. The sum of harmonics with the period of oscillation of 15–22 days has a significant modulating influence on the seasonal dynamics of the daily growth of shoots, forming a quasi-periodic sequence with a variable infradian the period of oscillation 18–20 days. The dynamics of growth of shoots is not related to the individual characteristics of plants. It is recommended to use the revealed regularities as a theoretical basis for intensification of basket willow biomass production.

Keywords: basket willow, *Salix viminalis*, energy plantations, annual shoots, daily growth, cyclicity of seasonal dynamics, endogenous rhythms.

Ива корзиночная, *Salix viminalis* L. 1753, общеизвестный представитель кустарниковых ив средней полосы России [1, p. 204–206]. Характеризуется высоким уровнем географической и внутрипопуляционной изменчивости [2, p. 969]. Высокий уровень внутри- и межпопуляционного разнообразия [3, p. 1595], а также способность к образованию межвидовых гибридов способствуют успешной селекции рассматриваемого вида [4, с. 351–360]. Традиционно считается лучшим источником прута для различных видов плетения [5, с. 7, 8]. Вследствие высокой продуктивности [6, p. 461] широко используется на энергетических плантациях [7, p. 151]. При выращивании деревьев и

кустарников для производства биомассы весьма желательным признаком является быстрый и стабильный рост [8, р. 670]. Однако многолетний опыт эксплуатации ивовых плантаций за рубежом [6, р. 461] показывает, что высокие урожаи биомассы возможны лишь при выращивании высокопродуктивных клонов в определенных эдафогидрологических условиях при наличии надлежащего ухода. Таким образом, повышение эффективности энергетических плантаций требует интенсификации производства биомассы [9, р. 686] с учетом взаимодействий «генотип–среда» [10, с. 323; 11, р. 87]. Для разработки календарных планов агролесотехнических мероприятий (рыхление, прополка, полив, внесение удобрений), направленных на повышение продуктивности ивовых плантаций, необходимо выявить хронобиологические закономерности нарастания побегов [12, с. 42]. Известно, что цикличность нарастания побегов ивы корзиночной связана с сезонной изменчивостью баланса фитогормонов-антагонистов: ингибиторов (абсцизовая кислота) и стимуляторов (цитокинины) [13, р. 474]. Однако хронобиологические аспекты интенсификации производства биомассы на энергетических плантациях ивы корзиночной изучены недостаточно. Сезонной изменчивости морфофизиологических признаков этого вида посвящены лишь единичные современные исследования [14, с. 40; 15, с. 610]. Эндогенные ритмы нарастания побегов ивы корзиночной практически не изучены.

Материалы и методы

Объект исследования – модельная популяция ивы корзиночной, созданная методом регулярного инбридинга в салицетуме Брянского государственного университета. Тип лесорастительных условий – D3 (серые лесные почвы на лёссовидном суглинке с меловыми подстилающими породами). Таким образом, для выявления закономерностей сезонной динамики нарастания побегов использован генетически выровненный материал, культивируемый в однородных условиях, что позволило минимизировать влияние флуктуирующих факторов [16, с. 16]. Подробная история создания модельной популяции описана нами ранее [17, с. 44]. В данном исследовании использованы пять наиболее сильных сеянцев – *vi* 21, *vi* 22, *vi* 43, *vi* 46, *vi* 47 – с годичным приростом побегов 150...225 см.

Материал для исследования – растущие однолетние побеги – был получен в течение вегетационного периода 2014 г. В середине апреля штамбы были обрезаны на высоте 1 м. Уход за сеянцами заключался в трехкратной прополке и рыхлении приствольных кругов. Для защиты точек роста от насекомых-вредителей производилась трехкратная профилактическая обработка путем погружения верхушек побегов в рабочие растворы имидаклоприда, содержащих инсектицидов: такой режим позволил минимизировать экологогенетические риски для окружающей среды [18, с. 3].

В период с 11.05.2014 (начало активного роста) по 22.08.2014 (завершение роста) каждые 5...6 сут на каждом сеянце производили замеры длины L наиболее сильных побегов с точностью ± 1 см. Каждому очередному наблюдению был присвоен порядковый номер k (1, 2, 3... k_i). Все даты, в которые проводились наблюдения (t), были пронумерованы по порядку (0, 4,

8... t_i). В данном исследовании были использованы наиболее сильные побеги, по одному от каждого сеянца.

Для выявления закономерностей динамики суточного прироста побегов использовался оригинальный алгоритм, описанный в наших предыдущих публикациях [17, с. 44–45; 19, с. 67–69]. На основании фактических данных по длине побегов L для каждой пронумерованной даты t_k были рассчитаны значения текущего суточного прироста побегов $\Delta L(t)_{\text{act}}$ с использованием принципа «скользящего окна». Для всех побегов был рассчитан среднесуточный прирост побегов на протяжении всего сезона наблюдений ΔL_{AM} . Сезонные тренды хронологической изменчивости суточного прироста побегов $\Delta L(t)$ аппроксимировались уравнениями линейной регрессии. Для каждого побега были вычислены эмпирические ряды динамики отклонений фактических значений суточного прироста побегов от расчетных значений сезонного тренда $dL(t)_{\text{act}}$. На основании эмпирических рядов $dL(t)_{\text{act}}$ был вычислен средний ряд $dL(t)_{\text{AM}}$. Эмпирические ряды $dL(t)_{\text{act}}$ каждого побега были аппроксимированы суммами гармоник h с порядковым номером n и параметрами: τ (период колебаний), A (амплитуда) и $\sin \varphi$ (синус начальной фазы). Достоверность аппроксимации определяли с помощью F -критерия Фишера. Для оценки размаха колебаний dL использовались показатели dL_{max} и dL_{min} . Для оценки вклада элементарных гармоник в фактическую сезонную динамику dL использовали суммы квадратов отклонений $dL(t)$ от нуля SS . Вклад каждой элементарной гармоники в фактическую сезонную динамику dL вычислялся как отношение суммы квадратов отклонений в элементарных гармониках к сумме квадратов отклонений в эмпирических рядах.

Результаты

Сезонные тренды хронологической изменчивости суточного прироста побегов аппроксимируются уравнениями линейной регрессии. Выявлена тенденция к снижению суточного прироста побегов на протяжении сезона наблюдений: от $\Delta L_{\text{lin}} = 1,8...3,5$ см/сут в середине мая до $\Delta L_{\text{lin}} = 0,3...1,6$ см/сут в середине августа. Сравнительный анализ эмпирических рядов $dL(t)_{\text{act}}$ показал, что сезонная динамика суточного прироста побегов определяется взаимодействием линейных и циклических компонент. Все ряды $dL(t)_{\text{act}}$ можно представить как квазигармонические колебания. Выявлено три максимума dL , разделенные временными интервалами продолжительностью 15...20 сут, и три минимума, разделенные временными интервалами продолжительностью 20...21 сут. Для выявления эндогенных ритмов, определяющих цикличность сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейных трендов, каждый эмпирический ряд $dL(t)_{\text{act}}$ был разложен на элементарные гармоники $h_1...h_7$. Путем сложения гармоник были получены расчетные ряды динамики $dL(t)_{\text{calc}}$. Достоверность такой аппроксимации оказалась исключительно высокой: $F_{\text{calc}} = 15,56...36,59$ ($F_{\text{crit}} = 3,92$ при $P < 0,001$).

Основные параметры гармонических колебаний для побегов каждого сеянца ($vi\ 21$, $vi\ 22$, $vi\ 43$, $vi\ 46$, $vi\ 47$) и количественная оценка вклада элементарных гармоник $h_1...h_7$ в сезонную динамику отклонений суточного прироста побегов от расчетных значений линейного тренда приведена в табл. 1.

Дифференцированный вклад гармоник в сезонную динамику отклонений суточного прироста побегов от линейного тренда

Показатели	Номера гармоник							Эмпири. ряды
	1	2	3	4	5	6	7	
	Период гармонических колебаний							
	108	54	36	27	21,6	18	15,4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
vi 21								
A	0,35	0,40	0,45	0,20	0,15	0,15	–	–
$\sin \varphi$	–0,93	0,87	0,77	–0,81	–0,93	–0,14	–	–
$dL_{\max}$	0,31	0,42	0,42	0,21	0,16	0,14	–	1,03
$dL_{\min}$	–0,37	–0,37	–0,46	–0,19	–0,14	–0,14	–	–1,06
SS	1,02	1,42	1,90	0,37	0,22	0,23	–	5,63
H^2	0,18	0,25	0,34	0,07	0,04	0,04	–	–
vi 22								
A	0,10	0,25	0,20	0,10	0,20	0,05	0,10	–
$\sin \varphi$	–0,14	0,99	0,46	0,06	–0,84	0,88	0,99	–
$dL_{\max}$	0,11	0,26	0,17	0,10	0,20	0,05	0,10	0,54
$dL_{\min}$	–0,09	–0,24	–0,22	–0,10	–0,19	–0,05	–0,07	–0,49
SS	0,09	0,56	0,33	0,08	0,33	0,02	0,08	1,54
H^2	0,06	0,36	0,21	0,05	0,22	0,01	0,05	–
vi 43								
A	0,15	0,30	0,30	0,25	0,10	0,20	0,20	–
$\sin \varphi$	–0,81	0,87	0,96	0,96	–1,00	–0,52	0,46	–
$dL_{\max}$	0,14	0,33	0,29	0,24	0,10	0,20	0,13	0,59
$dL_{\min}$	–0,16	–0,27	–0,30	–0,26	–0,10	–0,20	–0,23	–0,93
SS	0,22	0,80	0,88	0,61	0,10	0,40	0,40	3,64
H^2	0,06	0,22	0,24	0,17	0,03	0,11	0,11	–
vi 46								
A	0,20	0,15	0,20	0,10	0,05	0,25	0,15	–
$\sin \varphi$	0,26	0,77	0,88	–0,14	–0,72	0,76	–0,20	–
$dL_{\max}$	0,21	0,15	0,19	0,11	0,06	0,24	0,13	0,56
$dL_{\min}$	–0,19	–0,15	–0,20	–0,09	–0,04	–0,24	–0,16	–0,60
SS	0,38	0,23	0,39	0,09	0,03	0,56	0,18	1,99
H^2	0,19	0,12	0,19	0,04	0,01	0,28	0,09	–
vi 47								
A	0,20	0,30	0,50	0,15	0,30	0,30	0,30	–
$\sin \varphi$	0,44	0,96	0,46	–0,20	–0,99	0,06	0,76	–
$dL_{\max}$	0,22	0,31	0,46	0,14	0,31	0,29	0,26	1,02
$dL_{\min}$	–0,18	–0,29	–0,51	–0,16	–0,29	–0,31	–0,28	–1,83

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SS	0,36	0,91	2,25	0,20	0,87	0,89	0,74	6,44
H^2	0,06	0,14	0,35	0,03	0,14	0,14	0,11	–
среднее по сеянцам								
H^2	0,11	0,22	0,27	0,07	0,09	0,12	0,09	–
общий ряд								
$dL_{\max}$	0,11	0,27	0,30	0,02	0,16	0,19	0,09	0,56
$dL_{\min}$	–0,11	–0,24	–0,35	–0,02	–0,15	–0,16	–0,12	–0,91
SS	0,12	0,61	0,94	0,00	0,23	0,26	0,11	2,38
H^2	0,05	0,26	0,40	0,00	0,10	0,11	0,05	–

Примечание. A – амплитуда колебаний; $\sin \varphi$ – синус начальной фазы; $dL_{\max}$ и $dL_{\min}$ – максимальное и минимальное расчетное значение dL в гармоническом ряду; SS – сумма квадратов фактических отклонений $dL(t)$ от расчетных; H^2 – вклад гармоник в сезонную динамику суточного прироста побегов.

Обсуждение

Низшие гармоники ($h_1 \dots h_3$) выделяются высокими значениями амплитуд. Вторая и третья гармоники определяют сезонную цикличность dL в модельной популяции: наличие максимумов определяется влиянием третьей гармоники ($\tau = 36$ сут), а вторая гармоника ($\tau = 54$ сут) оказывает заметное модулирующее влияние на размах колебаний. При суммировании второй и третьей гармоник образуются квазипериодические последовательности с переменным периодом колебаний 30...40 сут. Вклад первой гармоники ($\tau = 108$ сут) в сезонную динамику dL оказывается незначительным.

Инфраниантные гармоники $h_4 \dots h_7$ с периодом колебаний $\tau < 30$ сут характеризуются близкими по значению умеренными амплитудами. Пятая гармоника ($\tau \approx 22$ сут) характеризует видовую популяцию в целом, оказывая заметное модулирующее влияние на сезонную динамику dL . При сложении пятой, шестой и седьмой гармоник образуются квазипериодические последовательности с переменным периодом колебаний 18...20 сут. Вклад четвертой гармоники ($\tau = 27$ сут) в сезонную динамику dL оказывается незначительным.

Заключение

1. Сезонная динамика суточного прироста побегов изученных сеянцев в модельной популяции ивы корзиночной определяется взаимодействием линейных и циклических компонент. Средний ряд сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейного тренда представляет собой квазигармоническую последовательность, в которой выделяются экстремумы, разделенные неравными временными интервалами: от 15 до 21 сут.

2. Эмпирические ряды динамики отклонений суточного прироста побегов от линейных трендов с высокой надежностью аппроксимируются суммами гармоник с периодами колебаний, равными 15, 18, 22, 27, 36 и 54 сут при основном периоде колебаний 108 сут. Выявленные гармоники различаются по значениям амплитуд и начальных фаз колебаний.

3. Сезонная динамика отклонений суточного прироста побегов от линейных трендов определяется взаимодействием высокоамплитудных гармоник с периодом колебания 36 и 54 сут, при суммировании которых образуются квазипериодические последовательности с переменным периодом колебаний 30...40 сут. Сумма гармоник с периодом колебания 15...22 сут оказывает заметное модулирующее влияние на сезонную динамику отклонений суточного прироста побегов от линейных трендов, образуя квазипериодические последовательности с переменным инфраничным периодом колебаний 18...20 сут.

4. Элементарные гармоник с периодом колебания 54, 36 и 22 сут характеризуют видовую популяцию в целом. Влияние остальных гармоник на сезонную динамику суточного прироста побегов в значительной мере связано с индивидуальными особенностями растений.

5. Выявленные закономерности сезонной динамики суточного прироста побегов ивы корзиночной рекомендуется использовать при разработке интенсивных технологий эксплуатации энергетических плантаций. Календарные планы проведения агролесотехнических мероприятий должны разрабатываться с учетом эндогенных ритмов развития побегов с периодами колебаний 30...40 и 18...20 сут.

Библиографический список

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. High Levels of genetic diversity in *Salix viminalis* of the Czech Republic as revealed by microsatellite markers / S. Trybush, Š. Jahodová, L. Čížková, A. Karp, S. J. Hanley // Bioenergy Research. – 2012. – Vol. 5 (4). – P. 969–977.
3. Genetic diversity, population structure and phenotypic variation in European *Salix viminalis* L. (Salicaceae) / S. Berlin, S. O. Trybush, J. Fogelqvist, N. Gyllenstrand, H. R. Hallingbäck, I. Åhman, N.-E. Nordh, I. Shield, S. J. Powers, M. Weih, U. Lagercrantz, A.-C. Rönnberg-Wästljung, A. Karp, S. J. Hanley // Tree Genetics & Genomes. – 2014. – Vol. 10 (6). – P. 1595–1610. – DOI 10.1007/s11295-014-0782-5.
4. **Царев, А. П.** Селекция и репродукция лесных древесных пород / А. П. Царев, С. П. Погиба, В. В. Тренин. – Москва : Логос, 2003. – 503 с.
5. **Керн, Э. Э.** Ива, ее значение, разведение и употребление / Э. Э. Керн. – Петроград : Типография Министерства путей сообщения (Товарищества И. Н. Кушнерева и К^о), 1915. – 132 с.
6. Willow productivity from small- and large-scale experimental plantations in Poland from 2000 to 2017 / M. J. Stolarski, D. Niksa, M. Krzyżaniak, J. Tworkowski, S. Szczukowski // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2019. – Vol. 101. – P. 461–475.
7. Genetic improvement of willow for bioenergy and biofuels / A. Karp, S. J. Hanley, S. Trybush, W. Macalpine, M. Pei, I. Shield // Journal of integrative plant biology. – 2011. – Vol. 53 (2). – P. 151–165.
8. Association mapping in *Salix viminalis* L. (Salicaceae) – identification of candidate genes associated with growth and phenology / H. R. Hallingbäck, J. Fogelqvist, S. J. Powers, J. Turrion-Gomez, R. Rossiter, J. Amey, T. Martin, M. Weih, N. Gyllenstrand, A. Karp, U. Lagercrantz, S. J. Hanley, S. Berlin, A.-C. Rönnberg-Wästljung // Global Change Biology Bioenergy. – 2015. – Vol. 8 (3). – P. 670–685. – DOI 10.1111/gcbb.12280.
9. Sustainable intensification of high-diversity biomass production for optimal biofuel benefits / Y. Yang, D. Tilman, C. Lehman, J. J. Trost // Nature Sustainability. – 2018. – Vol. 1 (11). – P. 686. – DOI 10.1038/s41893-018-0166-1.

10. **Фучило, Я. Д.** Рост и продуктивность некоторых сортов энергетической ивы в зависимости от степени увлажненности почвы / Я. Д. Фучило, М. В. Сбытна, Б. В. Зелинский // *Plant Varieties Studying and Protection*. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 323–327.
11. Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years / S. Berlin, H. R. Hallingbäck, F. Beyer, N.-E. Nordh, M. Weih, A.-C. Rönnberg-Wästljung // *Annals of Botany*. – 2017. – Vol. 120 (1). – P. 87–100.
12. **Кренке, Н. П.** Теория циклического старения и омоложения растений и практическое ее применение / Н. П. Кренке. – Москва : Сельхозгиз, 1940. – 135 с.
13. **Alvim, R.** Seasonal Variation in the Hormone Content of Willow. I. Changes in the abscisic acid content and cytokinin activity in the xylem sap / R. Alvim, E. W. Hewett, P. F. Saunders // *Plant Physiol.* – 1976. – Vol. 57. – P. 474–476.
14. **Кузьмичева, Н. А.** Взаимосвязь морфолого-химических параметров листьев ивы прутовидной с их положением на побеге / Н. А. Кузьмичева // *Вестник фармации*. – 2015. – № 3. – С. 40–46.
15. **Созинов, О. В.** Сезонная и многогодичная изменчивость содержания биологически активных веществ в коре *Salix viminalis* (Salicaceae) в Беларуси / О. В. Созинов, Н. Л. Кузьмичева // *Растительные ресурсы*. – 2016. – Т. 52, № 4. – С. 610–619.
16. **Романовский, М. Г.** Система вида у древесных растений / М. Г. Романовский, Р. В. Щекалев. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 211 с.
17. **Афонин, А. А.** Хронобиологические аспекты оптимизации пестицидной нагрузки в насаждениях ивы корзиночной (*Salix viminalis* L.) интенсивного типа / А. А. Афонин // *Вестник Нижневартковского государственного университета*. – 2019. – № 2. – С. 43–50.
18. **Афонин, А. А.** Генетическая безопасность агробиоценозов / А. А. Афонин, Л. И. Булавинцева // *Биология в школе*. – 2011. – № 5. – С. 3–10.
19. **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 // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2016. – № 3. – С. 66–76.

References

1. Skvortsov A. K. *Willows of Russia and adjacent countries: Taxonomical and geographical revision*. Joensuu: University of Joensuu, 1999, 307 p.
2. Trybush S., Jahodová Š., Čížková L., Karp A., Hanley S. J. *Bioenergy Research*. 2012, vol. 5 (4), pp. 969–977.
3. Berlin S., Trybush S. O., Fogelqvist J., Gyllenstrand N., Hallingbäck H. R., Åhman I., Nordh N.-E., Shield I., Powers S. J., Weih M., Lagercrantz U., Rönnberg-Wästljung A.-C., Karp A., Hanley S. J. *Tree Genetics & Genomes*. 2014, vol. 10 (6), pp. 1595–1610. DOI 10.1007/s11295-014-0782-5.
4. Tsarev A. P., Pogiba S. P., Trenin V. V. *Selektsiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod* [Forest tree breeding and reproduction]. Moscow: Logos, 2003, 503 p. [In Russian]
5. Kern E. E. *Iva, ee znachenie, razvedenie i upotreblenie* [Willow, its meaning, breeding and consumption]. Petrograd: Tipografiya Ministerstva putey soobshcheniya (Tovari-shchestva I. N. Kushnerev i Ko), 1915, 132 p. [In Russian]
6. Stolarski M. J., Niksa D., Krzyżaniak M., Tworkowski J., Szczukowski S. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019, vol. 101, pp. 461–475.
7. Karp A., Hanley S. J., Trybush S., Macalpine W., Pei M., Shield I. *Journal of integrative plant biology*. 2011, vol. 53 (2), pp. 151–165.
8. Hallingbäck H. R., Fogelqvist J., Powers S. J., Turrion-Gomez J., Rossiter R., Amey J., Martin T., Weih M., Gyllenstrand N., Karp A., Lagercrantz U., Hanley S. J., Berlin S.,

- Rönnberg-Wästljung A.-C. *Global Change Biology Bioenergy*. 2015, vol. 8 (3), pp. 670–685. DOI 10.1111/gcbb.12280.
9. Yang Y., Tilman D., Lehman C., Trost J. J. *Nature Sustainability*. 2018, vol. 1 (11), pp. 686. DOI 10.1038/s41893-018-0166-1.
10. Fuchilo Ya. D., Sbytna M. V., Zelinskiy B. V. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018, vol. 14, no. 3, pp. 323–327.
11. Berlin S., Hallingbäck H. R., Beyer F., Nordh N.-E., Weih M., Rönnberg-Wästljung A.-C. *Annals of Botany*. 2017, vol. 120 (1), pp. 87–100.
12. Krenke N. P. *Teoriya tsiklicheskogo stareniya i omolozheniya rasteniy i prakticheskoe ee primeneniye* [The theory of cyclic aging and rejuvenation of plants and its practical application]. Moscow: Sel'khozgiz, 1940, 135 p. [In Russian]
13. Alvim R., Hewett E. W., Saunders P. F. *Plant Physiol*. 1976, vol. 57, pp. 474–476.
14. Kuz'micheva N. A. *Vestnik farmatsii* [Bulletin of Pharmacy]. 2015, no. 3, pp. 40–46. [In Russian]
15. Sozinov O. V., Kuz'micheva N. L. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources]. 2016, vol. 52, no. 4, pp. 610–619. [In Russian]
16. Romanovskiy M. G., Shchekalev R. V. *Sistema vida u drevesnykh rasteniy* [Species system in woody plants]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014, 211 p. [In Russian]
17. Afonin A. A. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Nizhnevartovsk State University]. 2019, no. 2, pp. 43–50. [In Russian]
18. Afonin A. A., Bulavintseva L. I. *Biologiya v shkole* [Biology at school]. 2011, no. 5, pp. 3–10. [In Russian]
19. Afonin A. A., Zaytsev S. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [University proceedings. Forest journal]. 2016, no. 3, pp. 66–76. [In Russian]
-

Афонин Алексей Алексеевич

доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, кафедра биологии, Брянский
государственный университет
имени академика И. Г. Петровского
(Россия, г. Брянск, ул. Бежицкая, 14)

E-mail: afonin.salix@gmail.com

Afonin Aleksey Alekseevich

Doctor of agricultural sciences, professor,
sub-department of biology, Ivan Petrovsky
Bryansk State University (14, Bezhitskaya
street, Bryansk, Russia)

Образец цитирования:

Афонин, А. А. Сезонная динамика нарастания побегов ивы корзиночной (*Salix viminalis*) / А. А. Афонин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2019. – № 4 (28). – С. 26–34. – DOI 10.21685/2307-9150-2019-4-3.