

# ЭНДОГЕННЫЕ РИТМЫ СУТОЧНОГО ПРИРОСТА ОДНОЛЕТНИХ ПОБЕГОВ ИВЫ ТРЕХТЫЧИНКОВОЙ (*SALIX TRIANDRA* L.) НА ФОНЕ РАННЕЛЕТНЕЙ ЗАСУХИ

## ENDOGENOUS RHYTHMS OF DAILY GROWTH OF ANNUAL SHOOTS OF ALMOND WILLOW (*SALIX TRIANDRA* L.) AGAINST THE BACKGROUND OF EARLY-SUMMER DROUGHT

A. Afonin

*Summary.* The necessity of studying the laws of development of shoots of almond willow (*Salix triandra*) on the background of rainfall deficit in early-summer period. Objective: to identify patterns of growth of shoots against the background of early-summer rainfall deficit. Object: seedlings of inbred families of almond willow. Material: growing annual shoots. Methods: selection, comparative morphological. Differential resistance to water stress is revealed. The maximum length of shoots is 2.5...3.0 m. The cyclical growth of shoots is determined by endogenous rhythms of development. High-yielding clones recommended for breeding of almond willow for drought tolerance.

*Keywords:* almond willow, *Salix triandra*, annual shoots, daily growth, water stress, short-term drought, early-summer drought.

**Афонин Алексей Алексеевич**

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

*Аннотация.* Обоснована необходимость изучения закономерностей развития побегов ивы трехтычинковой (*Salix triandra*) на фоне дефицита осадков в раннелетний период. Цель: выявить закономерности нарастания побегов на фоне раннелетнего дефицита осадков. Объект: сеянцы инбредной семьи ивы трехтычинковой. Материал: нарастающие однолетние побеги. Методы: селекционные, сравнительно-морфологические. Выявлена дифференциальная устойчивость к водному стрессу. Максимальная длина побегов — 2,5...3,0 м. Цикличность нарастания побегов определяется эндогенными ритмами развития. Высокопродуктивные клоны рекомендуется использовать для селекции ивы трехтычинковой на засухоустойчивость.

*Ключевые слова:* ива трехтычинковая, *Salix triandra*, однолетние побеги, суточный прирост, водный стресс, кратковременная засуха, раннелетняя засуха.

**И**вы (*Salix* L. 1753) — это многочисленная группа двудомных листопадных древесно-кустарниковых растений семейства Salicaceae Mirb. (1815) класы Salicoids порядка Malpighiales Juss. ex Bercht. & J. Presl (1820) класы Fabids — Rosids — Eudicots отдела Magnoliophyta [1, 2]. Практическое значение ряда видов *Salix* определяется их способностью к быстрому росту даже в неблагоприятных эдафо-гидрологических условиях [3], что дает возможность их использования для широкого спектра экологических проектов [4].

Одним из факторов, который может оказать серьезное влияние на продуктивность и выживаемость растений, является засуха [5]. В связи с климатическими изменениями последних десятилетий ожидается увеличение частоты и интенсивности засух, особенно весной и летом во многих регионах средних широт, что подчеркивает необходимость получения дополнительных знаний о восприимчивости деревьев к засухе [6, 7]. Известно, что «устойчивость ив к недостатку влаги основана на экологической видоспецифичности и базируется на морфо-физиологическом комплексе структур и свойств» [8: с. 331]. Для эффективного выращивания

высокопродуктивных ив необходимо иметь засухоустойчивые сорта [9], поэтому в последние годы все больше внимания уделяется изучению генетически обусловленных реакций ив на засуху [7, 9]. Однако генетический анализ устойчивости ив к водному стрессу затрудняется многократным дублированием соответствующих генов QTL и высоким уровнем полиплоидии [10].

Ива трехтычинковая — *S. triandra* L. — широко известный представитель культивируемых кустарниковых ив [11]. Этот вид не рекомендуется для интенсивного выращивания на пахотных землях из-за сравнительной низкой продуктивности по общей биомассе [12]. Однако ива трехтычинковая является ценным источником прута для различных видов плетения [13, 14] и может выращиваться на маргинальных землях в неблагоприятных условиях [3].

С цитогенетической точки зрения, ива трехтычинковая — диплоид ( $2n = 2x = 38$ ) [15, 16, 17]. Ранее нами была показана возможность существования гипо- и гиперануплоидов, но особенности кариотипа ив (мелкие хромосомы, склонные к образованию ассоциаций) затрудняют изучение хромосомного полиморфизма [18]. Низкий

Таблица 1. Агрометеорологические условия в апреле–июле 2019 г.

Месяцы	Температура воздуха, t°C		Количество осадков, мм	
	средняя многолетняя	средняя фактическая	среднее многолетнее	фактическое
апрель	7,2	8,9 (+1,7)	43	18 (-25)
май	13,7	16,0 (+2,3)	57	86 (+29)
июнь	17,1	20,9 (+3,8)	80	33 (-47)
июль	18,9	16,9 (-2,0)	83	48 (-35)
сумма:	1740	1914 (+174)	263	185 (-78)

уровень плоидности облегчает сравнение разных генотипов, культивируемых в однородных условиях. Однако выявление генетически обусловленной дифференцированной устойчивости к экологическим стрессорам (включая засухоустойчивость) затруднено из-за высокого уровня гетерозиготности и в природных популяциях и в культуре [10].

Цель данного исследования: выявить закономерности нарастания однолетних побегов ивы трехтычинковой на фоне раннелетнего дефицита осадков, используя генетически выровненный материал, культивируемый в однородных условиях.

## Материал и методы

Объект исследования: модельное насаждение ивы трехтычинковой — инбредная семья, созданная путем семенной репродукции на протяжении трех поколений. В состав модельного насаждения входило 24 высокопродуктивных сеянца третьего года жизни. История создания и условия культивирования данной семьи описаны ранее [19]. Материал: нарастающие однолетние побеги. Наблюдения за развитием побегов производились на протяжении в течение вегетационного периода 2019 г.

С агрометеорологической точки зрения, весенне-летняя часть вегетационного периода характеризовалась повышенной температурой воздуха и дефицитом осадков. После сухого теплого апреля начались интенсивные майские дожди, последний из которых выпал 25.05. Затем наступил засушливый период: на протяжении четырех недель выпало всего 6 мм осадков. Среднесуточная температура воздуха за этот же период возросла с 18,9 °C до 28,7 °C. Таким образом, к концу июня сложилась ситуация кратковременной раннелетней засухи. После ливня 23.06 осадки выпадали более или менее регулярно. Помесячная динамика метеофакторов во второй половине весны и в первой половине лета 2019 г. [Архив погоды..., 2019] приведена в таблице 1.

В середине апреля штамбы, образованные побегами предыдущего года, были обрезаны на высоте 20 см, что обеспечило синхронизацию ранних этапов морфогене-

за. Таким образом, однолетние побеги формировались на корнях (точнее, корне-комлевых системах) третьего года жизни. В дальнейшем каждый куст формировался в два побега. Уход заключался в подвязке, трехкратной прополке и рыхлении. Для защиты точек роста от паутинных клещей и насекомых-фитофагов производилась трехкратная профилактическая обработка верхушек побегов путем их погружения в рабочие растворы авермектин-содержащих инсектоакарицидов: такой режим защиты позволил минимизировать эколого-генетические риски для окружающей среды [20].

Начиная с 01.05 (устойчивый переход среднесуточных температур через +10 °C) каждые 4 сут производили замеры длины побегов:  $L$ , см. Каждому очередному наблюдению присвоили порядковый номер (1, 2, 3...  $k$ ). Все даты, в которые проводились наблюдения, пронумеровали по порядку (0, 4, 8...  $t$ ). Для каждого побега вычисляли суточный прирост  $\Delta L_k$ , см/сут в интервале  $\pm 4$  сут для каждой даты  $t_k$  с использованием принципа «скользящего окна». В итоге были получены выровненные эмпирические траектории суточного прироста побегов  $\Delta L(t)$ , см/сут.

В данном исследовании изучали динамику суточного прироста самых длинных побегов: по одному от каждого куста. Для группы побегов, использованных для анализа, вычислили среднее значение суточного прироста —  $\Delta L_{kAV}$  — для каждой даты  $t_k$ . В итоге была получена средняя траектория суточного прироста побегов — эмпирический ряд  $\Delta L(t)_{AV}$ , см/сут.

Для анализа средней траектории  $\Delta L(t)_{AV}$  использовался алгоритм, разработанный и описанный нами ранее [21]. Сезонный тренд эмпирического ряда  $\Delta L(t)_{AV}$  аппроксимировали уравнением линейной регрессии. Порядковая дата начала линейной регрессии —  $t_{begin}$  — определялась итерационным методом исключений первых дат до достижения максимального коэффициента детерминации  $R^2$ . Для каждой даты  $t_k$  рассчитали отклонения фактических значений  $\Delta L_{kAV}$  от линейной регрессии. В итоге получили эмпирический ряд динамики отклонений  $dL(t)$ , который аппроксимировали суммами элементарных гармоник  $h$  с порядковым номером  $n$ .

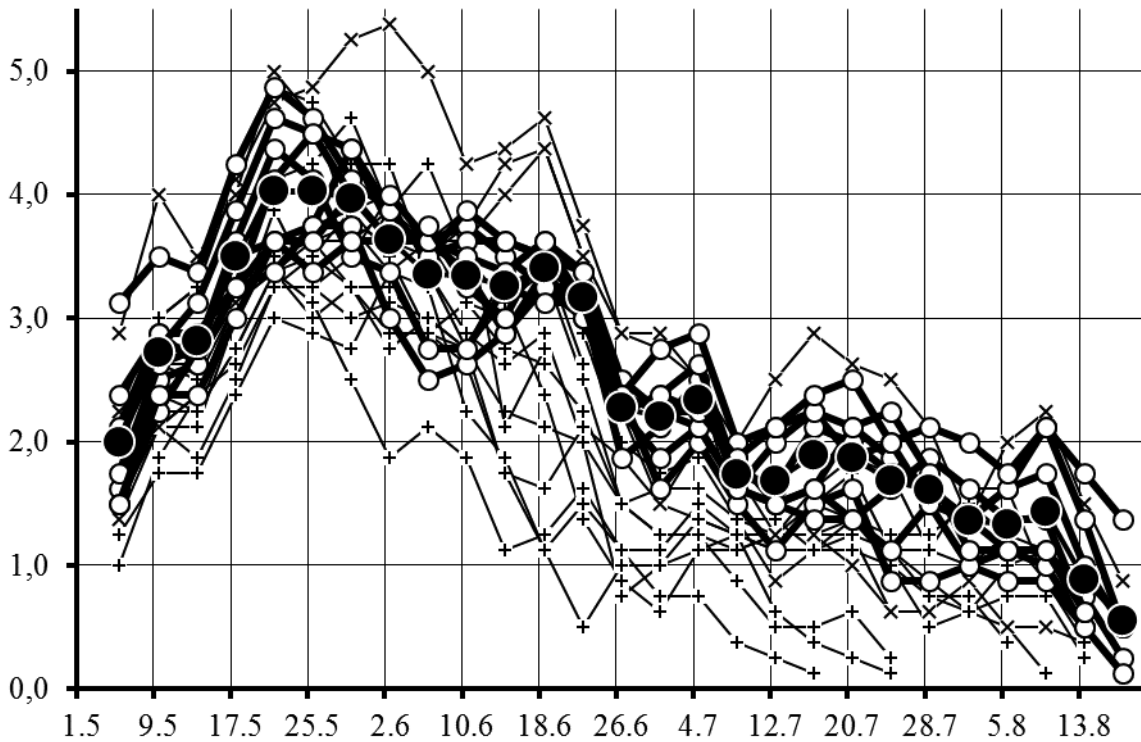


Рис. 1. Эмпирические ряды суточного прироста первых побегов. По оси абсцисс даты вегетационного периода 2019 г., по оси абсцисс суточный прирост побегов  $\Delta L(t)$ , см/сут.

Обозначения групп побегов: + — рано завершившие рост; x — длинные побеги, исключенные из анализа; o — длинные побеги, использованные для окончательного анализа; ● — средняя траектория суточного прироста длинных побегов, использованных для окончательного анализа.

Достоверность аппроксимации определяли с помощью *F*-критерия Фишера. Вклад каждой элементарной гармоник в общую сезонную динамику отклонений  $dL(t)$  вычисляли как отношение факториальных сумм квадратов отклонений к общей сумме квадратов отклонений. Подробное описание методики гармонического анализа дано нами ранее [19].

### Результаты

Замеры длины побегов производились на протяжении вегетационного периода 2019 г. с 1.05 (начало активного роста) по 21.08 (полное завершение роста всех побегов с отмиранием верхушечной почки). Всего было описано 43 побега на 23 кустах, произведено 1135 измерений  $L$  и вычислено 1049 значений  $\Delta L$ . Для анализа было отобрано 23 первых побега (по одному побегу от куста). Из них были выбраны самые сильные побеги — длиной 250...300 см, рост которых продолжался до 17.08...21.08. Из этой выборки были исключены три куста, у которых эмпирические ряды суточного прироста побегов  $\Delta L(t)$

заметно выделялись из основного массива траекторий. В итоге для окончательного анализа было оставлено 8 побегов от 8 кустов (число значений  $\Delta L$  — 213). Для этой группы был рассчитан средний ряд сезонной динамики суточного прироста —  $\Delta L(t)_{AV}$ , см/сут. Эмпирические ряды сезонной динамики суточного прироста всех описанных побегов показаны на рисунке 1.

Сезонный тренд эмпирического ряда  $\Delta L(t)_{AV}$  аппроксимировали уравнением линейной регрессии с начальной датой 21.05 ( $t = 21$ ). Надежность линейной аппроксимации очень высокая:  $R^2 = 0,935$ . В период с 21.05 по 13.08 средний суточный прирост линейно уменьшался от 4,0 см/сут до 0,9 см/сут.

Эмпирический ряд динамики  $dL(t)$  — отклонений фактических значений среднего суточного прироста от линейной регрессии — с высокой надежностью аппроксимирован суммами элементарных гармоник  $h$  с порядковым номером  $n$  (табл. 2). Общая сумма квадратов отклонений —  $SS_{tot}$  — равна 1,31, остаточная сумма

Таблица 2. Основные параметры элементарных гармоник

Параметры	Номера гармоник									
	2	6	8	4	3	9	7	10	5	
$\tau$	54,0	18,0	13,5	27,0	36,0	12,0	15,4	10,8	21,6	
$A$	0,22	0,14	0,12	0,12	0,08	0,08	0,04	0,04	0,04	
$\sin \varphi$	-0,06	-0,76	0,14	0,81	-0,95	-0,77	-0,46	0,97	-0,46	
$SS$	0,80	0,58	0,45	0,27	0,21	0,13	0,11	0,08	0,07	
$F$	1,64	1,38	1,30	1,64	1,32	1,56	1,25	1,32	1,22	
$H^2$	0,37	0,18	0,12	0,13	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	

Примечание. Главный период колебаний  $T$  равен 108 сут;  $n$  — номер гармоники,  $\tau$  — период колебаний гармоники (сут),  $A$  — амплитуда гармоники,  $\sin \varphi$  — синус смещения по начальной фазе,  $SS$  — сумма квадратов отклонений,  $F$  — фактическое значение критерия Фишера,  $H^2$  — вклад гармоники в сезонную динамику отклонений  $dL(t)$ .

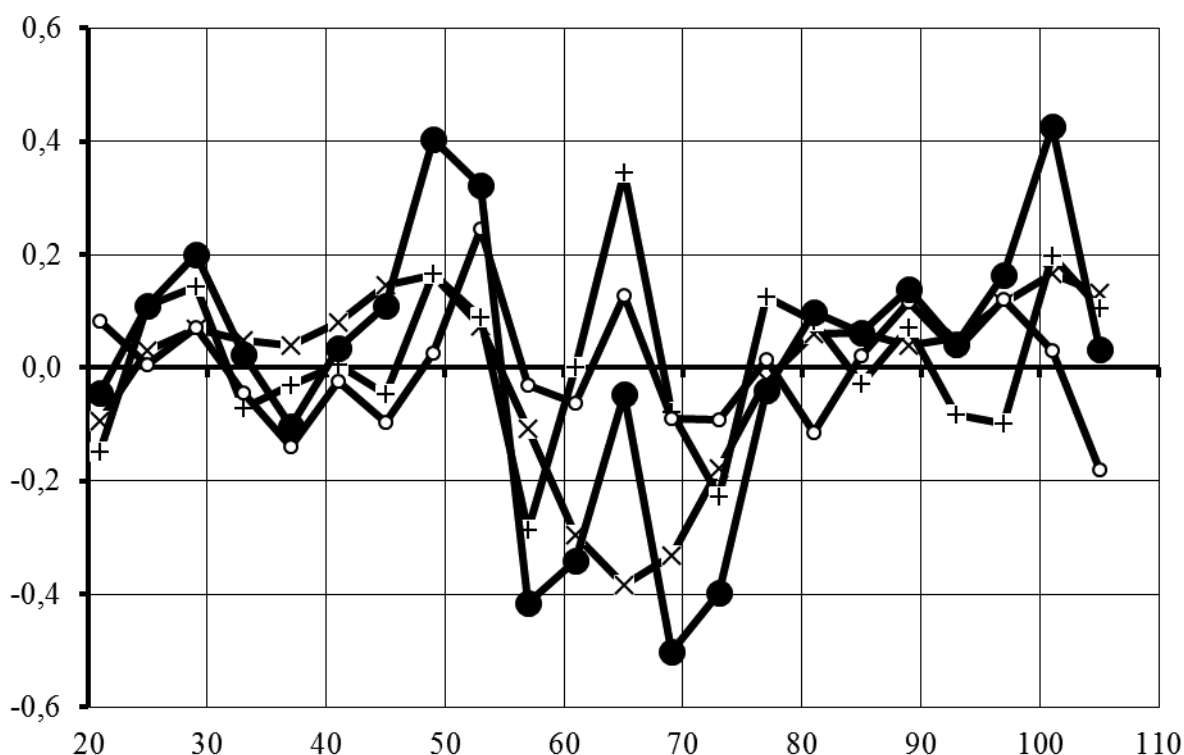


Рис. 2. Аппроксимация отклонений суточного прироста побегов от линейной регрессии. По оси абсцисс порядковые дни вегетационного периода 2019 г., по оси ординат отклонения  $dL(t)$ , см/сут. Обозначения траекторий: ● — эмпирический ряд отклонений; × — результатирующий ряд гармоник  $h_2$  и  $h_4$ ; + — результатирующий ряд гармоник  $h_6$  и  $h_8$ ; ○ — результатирующий ряд низкоамплитудных гармоник.

квадратов отклонений —  $SS_{res}$  — равна 0,08, фактическое значение  $F$ -критерия равно 20,0 ( $P < 0,001$ ).

На основании значений  $A$ ,  $\tau$  и  $H^2$  все гармоники  $h$  были распределены по трем группам:  $h_2+h_4$ ,  $h_6+h_8+h_9$

и низкоамплитудные. Для каждой группы было вычислено результатирующее колебание путем сложения элементарных гармоник. Полученные результатирующие колебания на фоне эмпирического ряда  $dL(t)$  показаны на рисунке 2.

## Обсуждение

В начале вегетационного периода — с 5.05 по 21.05 — на всех кустах наблюдался взрывной рост побегов: увеличение суточного прироста  $\Delta L$  с 1,0...3,1 см/сут до 3,0...5,0 см/сут. Увеличение  $\Delta L$  совпало с периодом теплой погоды и большим количеством осадков, а максимум  $\Delta L$  совпал с завершением дождевого периода. Однако это совпадение вполне может быть случайным: благоприятные агрометеорологические условия всего лишь обеспечили возможность увеличения прироста побегов. Истинные причины взрывного роста могут быть совершенно иными, например, использование прошлогодних запасов пластических веществ из корне-комлевой части кустов (что согласуется с литературными данными [22]).

После прекращения дождей и на фоне повышения температуры воздуха началось устойчивое линейное снижение суточного прироста побегов. Однако снижение  $\Delta L$  сразу после завершения майских дождей трудно объяснить моментально возникшим недостатком почвенной влаги.

Побеги разных кустов по-разному повели себя в условиях нарастающей раннелетней засухи. Ни один из кустов не погиб, однако в период с 22.06 по 26.06 (т.е. в момент максимальной засухи) суточный прирост побегов резко снизился: с 0,5...3,8 см/сут до 0,8...2,9 см/сут. После наступления дождливой холодной погоды в начале июля  $\Delta L$  несколько увеличился, а затем вновь снизился. Известное предположение Н. П. Кренке об омолаживающем действии дождей после засухи [23] подтверждается лишь частично. Вероятно, смена засухи периодом дождей сыграла роль синхронизирующего фактора.

На протяжении июня прирост побегов на некоторых кустах постоянно снижался, и они рано прекратили свой прирост: часть в III декаде июля, а часть — в I декаде августа. При этом среди кустов, рано завершивших нарастание побегов, были кусты как с низкими, так и с высокими значениями  $\Delta L$  в начале засушливого периода. Таким образом, можно предположить, что отрицательное влияние раннелетней засухи на некоторые кусты носит отсроченный характер.

Большинство кустов продолжило нарастание побегов вплоть до 17.08...21.08. Из этих кустов наибольший интерес представляют те, которые дали побеги длиной 250...300 см.

В основной группе длинных побегов сезонная динамика отклонений среднего суточного прироста побегов от линейной регрессии —  $dL(t)$  — носит циклический характер и с высокой надежностью аппроксимируется суммой элементарных гармоник с главным периодом коле-

баний  $T = 108$  сут. Основные максимумы в раннелетний и позднелетний период определяются, прежде всего, 2-й гармоникой с периодом колебаний  $\tau_2 = 54$  сут и, в меньшей степени, 4-й гармоникой ( $\tau_4 = 27$  сут). Локальный максимум в середине лета определяется взаимодействием 6-й, 8-й и 9-й гармоник ( $\tau_6 = 18$  сут,  $\tau_8 = 13,5$  сут,  $\tau_9 = 12$  сут). Сумма низкоамплитудных гармоник образует квазигармонический ряд с периодом колебаний  $\tau = 12$  сут. Влияние агрометеорологических факторов на ритмичность сезонной динамики  $dL(t)$  не прослеживается. Стабильность параметров гармонических колебаний на протяжении всего периода наблюдений указывает на эндогенный характер сезонной динамики отклонений среднего суточного прироста побегов от линейной регрессии.

По литературным данным [24], дефицит воды оказывает негативное воздействие, прежде всего, на генотипы с высокой продуктивностью. Однако в условиях нашего эксперимента кусты с высоким суточным приростом побегов оказались максимально устойчивыми к дефициту осадков на фоне повышенных температур. Вероятно, запаса почвенной влаги, созданного в период майских дождей хватило для обеспечения нормального развития кустов с высоким виталитетом.

## Выводы

1. Исследованная инбредная семья *S. triandra* характеризуется высокой устойчивостью к засухе. На фоне дефицита осадков и повышенных температур в раннелетний период часть сеянцев этой семьи (11 из 23) проявила высокую продуктивность — длина однолетних побегов достигла 2,5...3,0 м.
2. Среди сеянцев исследованной семьи выявлена дифференциальная устойчивость к водному стрессу. Полной гибели растений не наблюдалось, однако у части растений побеги преждевременно прекратили свой рост. На большинстве кустов (на 17 из 23) рост побегов продолжался до конца вегетационного периода.
3. Средний сезонный тренд динамики суточного прироста в основной группе длинных побегов (8 кустов) с высокой надежностью аппроксимируется уравнением линейной регрессии. Динамика отклонений суточного прироста побегов от линейной регрессии носит циклический характер и с высокой надежностью аппроксимируется суммой элементарных гармоник.
4. Ритмичность сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейной регрессии в основной группе длинных побегов не коррелирует с динамикой агрометеорологических факторов. На этом основании можно предположить, что циклическость нарастания побегов у се-

янцев с высоким виталитетом определяется эндогенными ритмами развития.

5. Для восьми сеянцев (из 23 изученных) негативное воздействие засухи оказалось минимальным.

Клоны этих сеянцев могут быть использованы как материал для селекции *S. triandra* на устойчивость к дефициту осадков в раннелетний период.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV // Botanical Journal of the Linnean Society. — 2016. — Vol. 181(1). — P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
2. Widespread ancient whole genome duplications in Malpighiales coincide with Eocene global climatic upheaval / Cai L.; Xi Z.; Amorim A. M. et al. // New Phytologist. — 2019. — Vol. 221(1). — P. 565–576. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15357>
3. Biomass production of energy willow under unfavourable field conditions / Mikó P., Kovács G. P., Alexa L. et al. // Applied Ecology and Environmental Research. — 2014. — Vol. 12(1). — P. 1–12.
4. Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the genus *Salix* / Frédette C., Labrecque M., Comeau Y., Brisson J. // Journal of Environmental Management. — 2019. — Vol. 246. — P. 526–537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.010>
5. Genome-wide transcriptional and physiological responses to drought stress in leaves and roots of two willow genotypes / Pucholt P., Sjödin P., Weih M. et al. // BMC Plant Biology. — 2015. — Vol. 15. — P. 244. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0630-2>
6. Oberhuber W. Soil water availability and evaporative demand affect seasonal growth dynamics and use of stored water in co-occurring saplings and mature conifers under drought // Trees. 2017. — Vol. 31(2). — P. 467–478. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1468-4>
7. Genome-wide transcriptomic analysis of a desert willow, *Salix psammophila*, reveals the function of hub genes *SpMDP1* and *SpWRKY33* in drought tolerance / Jia H., Zhang J., Li J. et al. // BMC Plant Biology. — 2019. — Vol. 19. — Article number: 356. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1900-1>
8. Кулагин А. Ю. Феномен засухоустойчивости видов рода *Salix* L.: экспериментальная характеристика особенностей водного режима // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2003. — Т. 5. — № 2. — С. 328–333.
9. Berlin S., Ghelardini L., Bonosi L. QTL mapping of biomass and nitrogen economy traits in willows (*Salix* spp.) grown under contrasting water and nutrient conditions // Molecular Breeding. — 2014. — Vol. 34(4). — P. 1987–2003. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-014-0157-5>
10. Hanley S. J., Karp A. Genetic strategies for dissecting complex traits in biomass willows (*Salix* spp.) // Tree Physiology. — 2014. — Vol. 34(11). — P. 1167–1180. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt089>
11. Скворцов А. К. Ивы СССР: систематический и географический обзор. — М.: Наука, 1968. — 262 с.
12. Productivity of willow coppice plants grown in short rotations / Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J. et al. // Plant Soil Environ. — 2005. — Vol. 51(9). — P. 423–430.
13. Growth and productivity of wicker willow (*Salix triandra* L.) plantation in Kashmir / Rather T. A., Qaisar K. N., Raja T. A., Khan M. A. // Journal of Research & Development. — 2009. — Vol. 9. — P. 30–44.
14. Kuzovkina Y. A. Checklist for Cultivars of *Salix* L. (Willow) // International *Salix* Cultivar Registration Authority. — 2015. — Vol. 50. — P. 163.
15. Blackburn K., Harrison J. A preliminary account of the chromosomes and chromosome behavior in the Salicaceae // Ann. Bot. — 1924. — N38. — P. 361–378.
16. Håkansson A. Chromosome Numbers and Meiosis in certain Salices // Hereditas. — 1955. — B. 41. — N3–4. — P. 454–482.
17. Wilkinsson J. The cytology of *Salix* in relation to its taxonomy // Ann. Bot. NS. — 1944. — P. 269–283.
18. Афонин А. А., Самошкин Е. Н. Зависимость размеров пыльцевых зерен ив трехтычинковой и пепельной от числа хромосом в клетках // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 1999. — № 4. — С. 35–40.
19. Афонин А. А. Ритмичность линейного прироста однолетних побегов ивы трехтычинковой // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: «Естественные и технические науки», — 2019. — № 1. — С. 10–16.
20. Афонин А. А., Булавинцева Л. И. Генетическая безопасность агробиоценозов // Биология в школе. — 2011. — № 5. — С. 3–10.
21. Афонин А. А., Зайцев С. А. Цикличность среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой (*Salix alba* L.) в условиях Брянского лесного массива // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2016. — № 3(351). — С. 66–76. DOI: <http://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.3.66>
22. High yielding biomass genotypes of willow (*Salix* spp.) show differences in below ground biomass allocation / Cunniff J., Purdy S. J., Barraclough T. J. P. et al. // Biomass & Bioenergy. 2015. Vol. 80. P. 114–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.020>
23. Кренке Н. П. Теория циклического старения и омоложения растений и практическое ее применение. — М.: Сельхозгиз, 1940. — 135 с.
24. Weih M. Evidence for increased sensitivity to nutrient and water stress in a fast-growing hybrid willow compared with a natural willow clone // Tree Physiology. — 2001. — Vol. 21(15). — P. 1141–1148. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/21.15.1141>

© Афонин Алексей Алексеевич ( [afonin.salix@gmail.com](mailto:afonin.salix@gmail.com) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»