

ПОЛИВАРИАНТНОСТЬ РАЗВИТИЯ ПОБЕГОВ *SALIX VIMINALIS* НА ФОНЕ ИЗБЫТОЧНОГО АТМОСФЕРНОГО УВЛАЖНЕНИЯ

Аннотация.

Актуальность и цели. Ива корзиночная – *Salix viminalis* – высокопродуктивный вид ив, который используется для создания сырьевых плантаций. Обоснована необходимость изучения внутриклоновой изменчивости сезонной динамики суточного прироста побегов *S. viminalis*. Цель – выявить возможное влияние избыточного атмосферного увлажнения в виде периодических ливневых дождей на динамику развития побегов *S. viminalis*.

Материалы и методы. Объект: модельная инбредно-клоновая популяция *S. viminalis*. Происхождение основателей: автохтонная популяция *S. viminalis* Брянского лесного массива. Материал: растущие однолетние побеги черенковых саженцев первого года жизни. Для получения и обработки исходных данных применяли комплекс методов экспериментальной ботаники, хронобиологии, анализа рядов динамики.

Результаты. На суглинистых серых лесных почвах на фоне избыточного атмосферного увлажнения годичный прирост побегов экспериментальных клонов составил 130...200 см при среднем суточном приросте 1,4...1,5 см/сут и максимальном приросте до 3,1...3,3 см/сут. Сезонный тренд суточного прироста охарактеризовался отрицательной динамикой. Выявлена цикличность сезонной динамики суточного прироста с интервалом между пиками около 20 сут. Установленная цикличность связана с периодичностью ливневых осадков. Выявлены внутриклоновая поливариантность морфогенеза побегов и внутриклоновая дискретность траекторий развития побегов.

Выводы. В условиях эксперимента исследуемые клоны *S. viminalis* показали достаточно высокую продуктивность по длине побегов. Динамика суточного прироста определяется взаимодействием сезонных трендов и циклических колебаний. Периодичность ливневых осадков оказывает модулирующее влияние на цикличность суточного прироста. Полученные результаты рекомендуются учитывать при проектировании и создании сырьевых плантаций ивы корзиночной для получения стабильно высоких урожаев биомассы.

Ключевые слова: ива корзиночная, *Salix viminalis*, избыточное атмосферное увлажнение, периодичность ливневых осадков, суточный прирост побегов, сезонная динамика прироста, дискретность развития, поливариантность морфогенеза.

А. А. Афонин

POLYVARIANT DEVELOPMENT OF *SALIX VIMINALIS* SHOOTS ON THE BACKGROUND OF EXCESSIVE ATMOSPHERIC HUMIDIFICATION

Abstract.

Background. Basket willow – *Salix viminalis* – a highly productive type of willows that is used to create raw material plantations. The necessity of studying the in-

traclonal variability of seasonal dynamics of daily shoots increment is justified. The purpose of the research is to identify the possible influence of excessive atmospheric humidification (such as periodic cloudbursts) on the dynamics of *S. viminalis* shoot development.

Materials and methods. The object of the research is a model inbred-clonal population of *S. viminalis*. The origin of the founders is an autochthonous population of *S. viminalis* in the Bryansk forest area. The materials are increasing annual shoots of one-year saplings from cuttings. To obtain and process the initial data, a set of methods of experimental botany, chronobiology, and analysis of time series were used.

Results. On loamy gray forest soils on the background of excessive atmospheric humidification, the annual growth of shoots of experimental clones was 130–200 cm with an average daily growth of 1,4–1,5 cm/day and a maximum growth of up to 3,1–3,3 cm/day. The seasonal trend of daily growth was characterized by negative dynamics. The cyclical nature of the seasonal dynamics of the daily increase with an interval between peaks of about 20 days was revealed. The established cyclicity is related to the periodicity of torrential rain. Intracolon polyvariance of shoot morphogenesis and intracolon discreteness of shoot development trajectories were revealed.

Conclusions. Under the experimental conditions, the studied clones of *S. viminalis* showed a fairly high productivity along the length of the shoots. The dynamics of daily growth is determined by the interaction of seasonal trends and cyclical fluctuations. The frequency of torrential rain has a modulating effect on the cyclicity of daily increment. The results are recommended to be taken into account when designing and creating raw plantations of basket willow to obtain consistently high yields of biomass.

Keywords: basket willow, *Salix viminalis*, excessive atmospheric humidification, periodicity of torrential rain, daily growth of shoots, seasonal dynamics of growth, discreteness of development, polyvariety of morphogenesis.

Ивы (*Salix*, Salicaceae, Malpighiales) – одна из наиболее многочисленных групп древесных растений умеренного климатического пояса Северного полушария [1]. Ива корзиночная – *S. viminalis* – широко известный представитель кустарниковых ив Старого Света с обширным ареалом евроазиатского бореального типа [2]. Как и большинство видов ив, *S. viminalis* характеризуется высоким уровнем межпопуляционного и внутривидового полиморфизма, способностью к межвидовой гибридизации [3]. С экологической точки зрения, *S. viminalis* – типичный пойменно-аллювиальный вид, предпочитающий хорошо дренированные почвы легкого механического состава [4]. Легко размножается как семенами, так и черенками, что способствует успешной популяционно-клоновой селекции [5]. Благодаря таким особенностям, как быстрый рост и неприхотливость, используется для создания сырьевых плантаций [6], а также в различных экологических проектах [7, 8]. Однолетние побеги *S. viminalis* традиционно служат источником высококачественного прута для плетения [9].

Для производства биомассы ив весьма желательным признаком является быстрый и стабильный рост побегов [10]. Однако при эксплуатации плантаций ив возникает проблема недобора урожая [11]. Причины снижения продуктивности могут быть самыми разнообразными [9]. Для обеспечения устойчивости культур к комплексу абиотических и биотических стрессоров не-

обходимо обеспечить быстрый рост черенковых саженцев в первый год жизни. Это повышает конкурентоспособность по отношению к сорнякам (соответственно, снижаются затраты на борьбу с сорной растительностью [9]) и позволяет саженцам развить мощную корневую систему, способную поглощать почвенную воду даже при недостаточном атмосферном увлажнении [12].

Фактическая продуктивность ивовых плантаций обычно связывается с эдафо-гидрологическими и погодными условиями [13]. Высокопродуктивные ивы успешно укореняются на умеренно увлажненных почвах легкого механического состава [14]. На переувлажненных слабо дренированных почвах продуктивность ив, как в первые, так и в последующие годы существования культур, существенно снижается [15].

Современные тенденции в изменении климата проявляются в виде непредсказуемости осадков в вегетационный период, что, несомненно, сказывается на производительности биомассы ив, особенно в умеренных, северных широтах [16]. При этом возникает стресс, обусловленный чередованием эпизодов избыточного увлажнения и последующей засушливой погоды [17]. Ростовые реакции *S. viminalis* на избыток влаги, связанные с внутриклоновой изменчивостью побегов однолетних черенковых саженцев, до сих пор изучены недостаточно.

Цель исследования – выявить возможное влияние избыточного атмосферного увлажнения в виде периодических ливневых дождей на динамику развития побегов в клонах ивы корзиночной.

Материалы и методы

Исследования проводились в салицетуме Брянского государственного университета (53°16'23.50"с.ш., 34°21'11.50"в.д.). Тип почв: серые лесные на лёссовидном покровном суглинке с меловыми подстилающими породами. Тип лесорастительных условий (ТЛУ): ДЗ (мезогигрофильная дубрава). Объект исследования – модельная инбредно-клоновая популяция *S. viminalis*. Материал для исследования: нарастающие однолетние побеги.

Исходный генетический материал (семена) был собран на территории Брянского лесного массива в автохтонной популяции *S. viminalis*. Модельная популяция создана на основе семьи, полученной в культуре путем регулярного инбридинга на протяжении трех поколений: F_0 (исходная генерация, посев 2001 г.), F_1 (первое поколение, сибсы, посев 2004 г.), F_{2b} (второе поколение, беккросс, посев 2009 г.). Генеалогия семьи описана нами ранее [18].

Для создания модельной популяции использовали генеты (клоны) $vi\ 40\varphi$ (F_1 2004 г.) и $vi\ 43\sigma$ (F_{2b} 2009 г.) с высокими значениями годичного прироста побегов (свыше 3,0 м на многолетних корнях). В качестве контроля использовали высокопродуктивную генету (клон) *S. viminalis* «Тернопольская» – $vi\ T\sigma$ (происхождение: Западная Украина) [15]. Указанные генеты расчереновали весной 2020 г. За год до черенкования (весной 2019 г.) маточные особи были коротко обрезаны для получения достаточного количества побегов, используемых в качестве посадочного материала. Для черенкования использовали нижние и средние части однолетних побегов. Длина черенков 25...30 см при диаметре 1,0...1,5 см. Черенки были высажены в подготовленные с осени посадочные ямы размером 40 × 40 × 40 см. Схема

размещения тригональная, с расстоянием между посадочными местами 1 м (расчетная плотность посадки 11 500 шт./га). Количество черенков *vi* 40 – 18 шт., *vi* 43 – 18 шт., *vi* T (контроль) – 10 шт. Дата посадки – 15.04 (температура почвы на глубине 10...40 см +4 °C). Посадка черенков – вертикальная с заглублением до одной почки на уровне почвы. Все саженцы формировались в один побег.

Наблюдения за развитием побегов производили в течение вегетационного периода 2020 г., который охарактеризовался определенной спецификой агрометеорологических условий [19]. Осадки в течение вегетационного периода выпадали неравномерно. Началу активной вегетации предшествовал сухой апрель. Почти весь май преобладала прохладная сухая погода. С конца мая и до середины июля на фоне повышенных среднесуточных температур воздуха (в среднем на 2,1 °C выше нормы) осадки выпадали преимущественно в виде трех сильных дождей: 29.05...2.06 (171 мм), 19...23.06 (94 мм), 14...15.07 (56 мм). В итоге, с 29.05 по 15.07 на территории района исследований наблюдалось избыточное атмосферное увлажнение (286 мм осадков, что более чем в 2 раза больше нормы), прежде всего, за счет ливней, выпадавших с периодичностью около 20 сут. С середины июля и до начала сентября на фоне нормальных температур воздуха наблюдался дефицит осадков за исключением относительного сильного дождя 30.07...2.08 (21 мм).

Для получения и обработки исходных данных использовали алгоритм, описанный нами ранее [20]. Наблюдения за развитием побегов проводили с 09.05 по 10.09. Каждые 4 сут замеряли длину побегов: L , см (выполнено 1117 измерений). Все даты, в которые проводились наблюдения, пронумеровали в соответствии с днями вегетационного периода (1, 5, 9... t_i). В итоге получили эмпирические ряды динамики нарастания побегов – $L(t)$, см. Для дальнейшего анализа отобрали нормально развитые побеги длиной не менее 130 см, завершившие рост в период с 17.08 по 10.09: 13 побегов клона *vi* 40, 11 побегов клона *vi* 43 и 10 побегов контрольного клона *vi* T. На основании эмпирических рядов $L(t)$ вычислили ряды сезонной динамики суточного прироста побегов $\Delta L(t)$, выровненные методом скользящего интервала продолжительностью 8 сут с шагом 4 сут (вычислено 943 значения ΔL). Группировку побегов производили на основании сравнительного анализа траекторий развития – $\Delta L(t)$. Для каждой группы рассчитали и визуализировали средние ряды $\Delta L(t)$.

Результаты

Активный рост побегов всех клонов начался 09.05. В клонах *vi* 40 и *vi* 43 рост побегов завершился 25.08...29.08, а в контрольном клоне *vi* T – 02.09...10.09. Годичный прирост побегов клона *vi* 40 составил $L = 138...205$ см (при среднем суточном приросте $\Delta L_{cp} = 1,54 \pm 0,033$ см/сут), клона *vi* 43 – $L = 132...192$ см (при среднем суточном приросте $\Delta L_{cp} = 1,41 \pm 0,032$ см/сут), контрольного клона *vi* T – $L = 207...261$ см (при среднем суточном приросте $\Delta L_{cp} = 1,93 \pm 0,047$ см/сут). Средний суточный прирост побегов контрольного клона *vi* T выше, чем в клонах *vi* 40 и *vi* 43 ($P < 0,001$), а средний суточный прирост побегов клона *vi* 40 выше, чем у клона *vi* 43 ($P < 0,05$).

Траектории развития побегов – ряды сезонной динамики суточного прироста $\Delta L(t)$ – показаны на рис. 1.

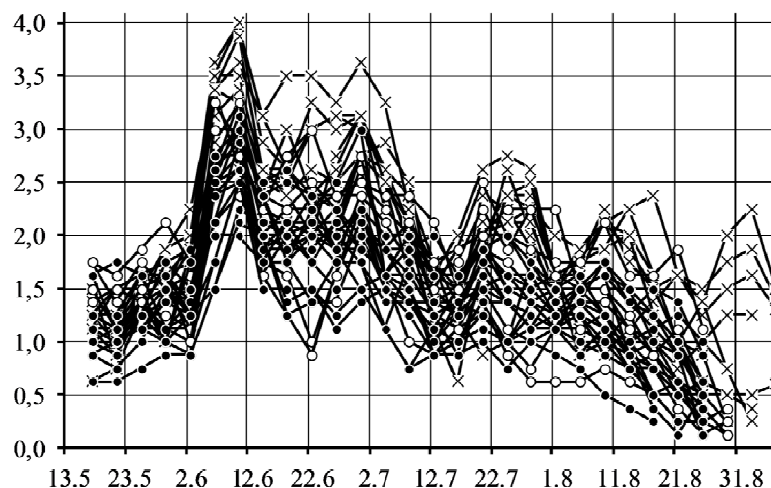


Рис. 1. Сезонная динамика суточного прироста побегов в клонах:
по оси абсцисс – даты вегетационного периода 2020 г.;
по оси ординат – суточный прирост побегов (см/сут);
обозначения клоновой принадлежности: $\circ$ – vi 40, $\bullet$ – vi 43, $\times$ – vi T

На всех изученных побегах, начиная с 10.06, сезонный тренд динамики $\Delta L(t)$ характеризуется уменьшением суточного прироста с $\Delta L = 2,91 \pm 0,088$ см/сут (10.06) до $\Delta L = 0,63 \pm 0,073$ см/сут (25.08). В то же время сезонная динамика $\Delta L(t)$ у всех изученных побегов характеризуется определенной цикличностью, обусловленной чередованием пиков и провалов ΔL . Интервал между пиками (или провалами) составляет примерно 20 сут, что соответствует периодичности ливневых осадков (максимумы 31.05, 21.06, 14.07 и 01.08). При этом датам провалов ΔL (22.06, 12.07, 01.08) соответствуют даты интенсивного выпадения осадков, а пики ΔL (10.6, 30.06, 24.07) обнаружены в промежутках интервалов дат между дождями.

В период с 14.06 по 30.06 (что соответствует сильным ливням 19.06...23.06) выявлена дискретность различий между рядами динамики $\Delta L(t)$ в пределах каждого клона. На этом основании на саженцах экспериментальных клонов vi 40 и vi 43 было выделено по три группы побегов, а на саженцах контрольного клона vi T – две группы побегов. В клонах vi 40 и vi 43 объем I группы составил 6 побегов, II группы – 11 побегов, III группы – 6 побегов. Для каждой группы побегов клонов vi 40 и vi 43 были вычислены средние ряды $\Delta L(t)$: me I, me II, me III.

Средние траектории развития побегов разных групп показаны на рис. 2.

Средние значения суточного прироста в I и II группах побегов клонов vi 40 и vi 43 практически совпадают: $\Delta L_I = 1,59 \pm 0,051$ см/сут и $\Delta L_{II} = 1,54 \pm 0,032$ см/сут. В III группе побегов средний суточный прирост достоверно ($P < 0,001$) ниже: $\Delta L_{III} = 1,28 \pm 0,041$ см/сут.

До 14.08 ряды динамики $\Delta L(t)$ во всех группах побегов синхронизированы: после периода стабильного прироста (до 02.06) ΔL резко возрастает. Далее – в период с 14.06 по 30.06 – в I группе побегов клонов vi 40 и vi 43 выявлен пик ΔL 22.06, во II группе побегов ΔL стабилизирован, а в III группе выявлен провал ΔL . После 30.06 ряды динамики $\Delta L(t)$ во всех группах побегов вновь синхронизируются, различаясь только по средним значениям ΔL .

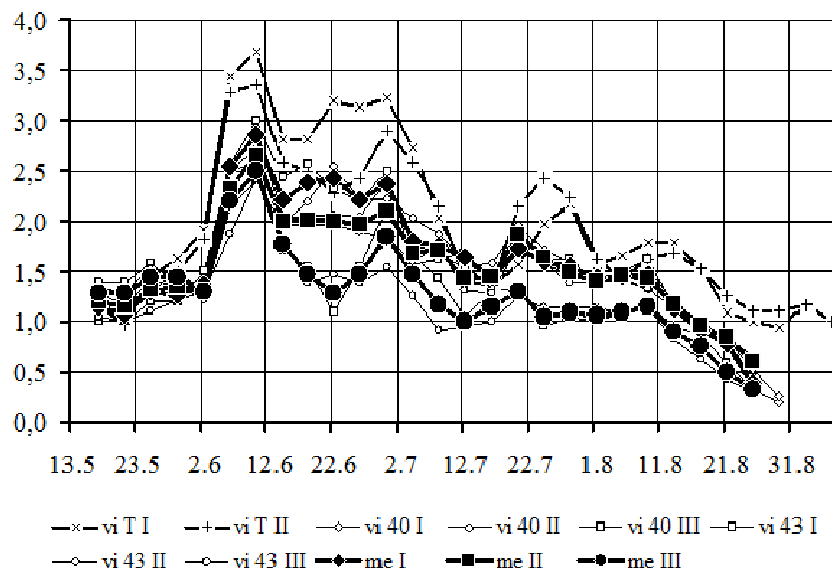


Рис. 2. Сезонная динамика суточного прироста в группах побегов:
по оси абсцисс – даты вегетационного периода 2020 г.;
по оси ординат – суточный прирост побегов (см/сут);
в легенде приведены обозначения групп побегов

Ряды динамики $\Delta L(t)$ побегов контрольного клона *vi T* отличаются от вышеописанных рядов, прежде всего большими значениями ΔL , однако в период с 12.07 по 20.07 (что соответствует ливням 14.07...15.07) эти различия исчезают. Ряды динамики $\Delta L(t)$ I группы побегов контрольного клона *vi T* сходны по конфигурации с I группой побегов клонов *vi 40* и *vi 43*, а ряды динамики $\Delta L(t)$ II группы побегов контрольного клона – с III группой побегов клонов *vi 40* и *vi 43*.

Обсуждение

В условиях данного эксперимента – ТЛУ D3, серые лесные почвы на лёссовидных покровных суглинках, избыточное атмосферное увлажнение в виде периодических ливневых осадков – однолетние черенковые саженцы двух экспериментальных клонов *S. viminalis*, полученных на основе генетического материала из автохтонной популяции на территории Брянского лесного массива, показали достаточно высокую продуктивность по длине однолетних побегов. Годичный прирост побегов нормально развитых саженцев составил 130...200 см. Однако контрольный клон – *S. viminalis* «Тернопольская» – в этих же условиях показал более высокие результаты – 200...260 см.

Развитие побегов на черенках, высаженных в середине апреля, началось в первой декаде мая. Побеги экспериментальных клонов завершили свой рост в конце августа, побеги контрольного клона – в первой декаде сентября. Суточный прирост стремительно возрастал с начала июня и достиг абсолютного максимума к 10 июня. После прохождения этого максимума и до конца вегетационного периода сезонный тренд суточного прироста охарактеризовался отрицательной динамикой. При этом сезонная динамика прироста побегов не связана со значениями среднегодовых приростов.

На протяжении летних месяцев (июнь – июль) сезонная динамика прироста носила циклический характер, обусловленный чередованием пиков и провалов суточного прироста с периодом около 20 сут. Инфраниантные (многодневные) ритмы развития побегов *S. viminalis* с периодом 16...24 сут выявлены нами ранее [18, 20].

В условиях данного эксперимента сезонная динамика прироста оказалась связанной с периодичностью ливневых осадков. В интервалах дат между ливнями выявлено возрастание, а затем снижение суточного прироста. Данная закономерность согласуется с гипотезой Н. П. Кренке об омолаживающем действии дождей [21]. В то же время колебания суточного прироста с периодом около 20 сут продолжались в конце лета после завершения сезона ливней (особенно ярко эти колебания проявились на побегах контрольного клона).

В пределах каждого клона выявлена поливариантность морфогенеза – индивидуальные реакции саженцев на избыток атмосферного увлажнения во второй половине июня: примерно за 10 сут до сильного ливня (23.06) и примерно через 10 сут после него. В экспериментальных клонах одна группа саженцев отреагировала на этот ливень в соответствии с теорией циклического старения-омоложения Н. П. Кренке [21], другая группа показала нейтральную реакцию на ливень, а часть – стала увеличивать суточный прирост примерно за 10 сут до ливня. Распределение саженцев по группам близко к биномиальному, что указывает на случайный (разумеется, в известной мере) характер ростовых реакций. Таким образом, для траекторий развития побегов установлена их дискретность.

Вероятно, ливневые осадки оказывают разнонаправленное действие на сезонную динамику прироста: в одних случаях избыточное увлажнение обеспечивает успешный рост, в других случаях замедляет (возможно, из-за возникновения анаэробных условий в зоне роста и функционирования корней), и, наконец, два этих вектора могут взаимно компенсировать друг друга.

На основании анализа полученных результатов можно предположить, что сезонная динамика суточного прироста побегов определяется взаимодействием эндогенных и экзогенных факторов, что согласуется с идеями И. Г. Серебрякова [22]. Основу цикличности развития побегов составляют эндогенные (многодневные, инфраниантные) ритмы с периодом примерно 20 сут, общие для экспериментальных клонов и контроля. Однако не исключено, что экзогенные ритмы (в виде периодических ливней) оказывают модулирующее влияние на неравномерность развития побегов.

Уникальность вегетационного периода 2020 г. в том, что временные интервалы между ливнями оказались равными периоду инфраниантных ритмов. При этом периодичность ливней случайным (разумеется, в известной мере) образом была синхронизирована с эндогенными ритмами, а именно: в интервалах между ливнями наблюдались максимумы суточного прироста.

Заключение

1. На серых лесных почвах в условиях избыточного атмосферного увлажнения однолетние черенковые саженцы двух клонов *S. viminalis*, полученных на основе генетического материала из автохтонной популяции Брян-

ского лесного массива, показали достаточно высокую продуктивность по годичному приросту побегов (130...200 см).

2. Сезонные тренды динамики прироста побегов на протяжении летних месяцев вегетационного периода характеризуются отрицательной динамикой. В то же время сезонная динамика прироста носит циклический характер, обусловленный чередованием пиков и провалов суточного прироста с периодом около 20 сут. Цикличность сезонной динамики прироста побегов определяется взаимодействием эндогенных инфрадианных ритмов развития и экзогенных ритмов, обусловленных периодичностью ливневых осадков.

3. Выявлена внутриклоновая поливариантность морфогенеза побегов в виде различных ростовых реакций на чередование дождливых и относительно сухих периодов в пределах периода вегетации. Установлена внутриклоновая дискретность траекторий развития побегов.

4. Полученные результаты рекомендуется учитывать при проектировании и создании сырьевых плантаций ивы корзиночной для получения стабильно высоких урожаев биомассы.

Библиографический список

1. Phylogeny of *Salix* subgenus *Salix* s.l. (Salicaceae): delimitation, biogeography, and reticulate evolution / J. Wu, T. Nyman, D.-C. Wang, G. W. Argus, Y.-P. Yang, J.-H. Chen // BMC Evolutionary Biology. – 2015. – Vol. 15, № 31. – DOI 10.1186/s12862-015-0311-7.
2. Genetic and morphological evidence for introgression between three species of willows / J. Fogelqvist, A. V. Verkhovina, A. I. Katyshev [et al.] // BMC Evolutionary Biology. – 2015. – Vol. 15 (1), № 193. – DOI 10.1186/s12862-015-0461-7.
3. Genetic diversity, population structure and phenotypic variation in European *Salix viminalis* L. (Salicaceae) / S. Berlin, S. O. Trybush, J. Fogelqvist [et al.] // Tree Genetics and Genomes. – 2014. – Vol. 10 (6). – P. 1595–1610. – DOI 10.1007/s11295-014-0782-5.
4. Кулагин, А. Ю. Сравнительная экология ивы корзиночной и ивы шерстисто-побеговой / А. Ю. Кулагин // Экология. – 1982. – № 4. – С. 51–55.
5. 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. – DOI 10.21498/2518-1017.4(33).2016.88607.
6. High-density linkage mapping and evolution of paralogs and orthologs in *Salix* and *Populus* / S. Berlin, U. Lagercrantz, S. von Arnold, T. Öst, A.-C. Rönnerberg-Wästljung // BMC Genomics. – 2010. – Vol. 11 (1), № 129. – DOI 10.1186/1471-2164-11-129.
7. Fredette, C. Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the genus *Salix* / C. Fredette, M. Labrecque, Y. Comeau, J. Brisson // Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 246. – P. 526–537. – DOI 10.1016/j.jenvman.2019.06.010.
8. Selection of appropriate reference genes for gene expression analysis under abiotic stresses in *Salix viminalis* / V. Ambroise, S. Legay, G. Guerriero, J.-F. Hausman, A. Cuypers, K. Sergeant // International Journal of Molecular Sciences. – 2019. – Vol. 20, № 4210.
9. Керн, Э. Э. Ива, ее значение, разведение и употребление / Э. Э. Керн. – Петроград : Тип. Министерства путей сообщения, 1915. – 132 с.
10. Association mapping in *Salix viminalis* L. (Salicaceae) – identification of candidate genes associated with growth and phenology / H. Hallingbäck, J. Fogelqvist, S. Powers [et al.] // Global Change Biology Bioenergy. – 2015. – Vol. 8 (3). – P. 670–685. – DOI 10.1111/gcbb.12280.

11. 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. – DOI 10.1016/j.rser.2018.11.034.
12. **Welc, M.** Effects of cutting phenology (non-dormant versus dormant) on early growth performance of three willow clones grown under different weed treatments and planting dates / M. Welc, A. Lundkvist, T. Verwijst // *BioEnergy Research*. – 2017. – Vol. 10. – P. 1094–1104. – DOI 10.1007/s12155-017-9871-2.
13. 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. – DOI 10.1093/aob/mcx029.
14. **McIvor, I.** Tree willow root growth in sediments varying in texture / I. McIvor, V. Desrochers // *Forests*. – 2019. – Vol. 10, № 517. – DOI 10.3390/f10060517.
15. **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. – DOI 10.21498/2518-1017.14.3.2018.145310.
16. **Fabio, E. S.** Tolerance of novel inter-specific shrub willow hybrids to water stress / E. S. Fabio, C. J. Leary, L. B. Smart // *Trees*. – 2019. – Vol. 33 (4). – P. 1015–1026. – DOI 10.1007/s00468-019-01835-4.
17. **Doffo, G. N.** Physiological responses to alternative flooding and drought stress episodes in two willow (*Salix* spp.) clones / G. N. Doffo, S. E. Monteoliva, M. E. Rodriguez, V. M. C. Luquez // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2017. – Vol. 47. – P. 174–182. – DOI 10.1139/cjfr-2016-0202.
18. **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. – DOI 10.36906/2311-4444/19-2/06.
19. Погода и климат. Климатический монитор. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor/> (дата обращения: 10.09.2020).
20. **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.
21. **Кренке, Н. П.** Теория циклического старения и омоложения растений и практическое ее применение / Н. П. Кренке. – Москва : Сельхозгиз, 1940. – 135 с.
22. **Серебряков, И. Г.** Соотношение внутренних и внешних факторов в годичном ритме развития растений: к истории вопроса / И. Г. Серебряков // *Ботанический журнал*. – 1966. – Т. 51, № 7. – С. 923–938.

References

1. Wu J., Nyman T., Wang D.-C., Argus G. W., Yang Y.-P., Chen J.-H. *BMC Evolutionary Biology*. 2015, vol. 15, no. 31. DOI 10.1186/s12862-015-0311-7.
2. Fogelqvist J., Verkhovina A. V., Katyshev A. I. et al. *BMC Evolutionary Biology*. 2015, vol. 15 (1), no. 193. DOI 10.1186/s12862-015-0461-7.
3. Berlin S., Trybush S. O., Fogelqvist J. et al. *Tree Genetics and Genomes*. 2014, vol. 10 (6), pp. 1595–1610. DOI 10.1007/s11295-014-0782-5.
4. Kulagin A. Yu. *Ekologiya* [Ecology]. 1982, no. 4, pp. 51–55. [In Russian]
5. Fuchylo Ya. D., Afonin A. A., Sbytna M. V. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2016, no. 4 (33), pp. 18–25. DOI 10.21498/2518-1017.4(33).2016.88607.
6. Berlin S., Lagercrantz U., von Arnold S., Öst T., Rönnberg-Wästljung A.-C. *BMC Genomics*. 2010, vol. 11 (1), no. 129. DOI 10.1186/1471-2164-11-129.

7. Fredette C., Labrecque M., Comeau Y., Brisson J. *Journal of Environmental Management*. 2019, vol. 246, pp. 526–537. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.06.010.
8. Ambroise V., Legay S., Guerriero G., Hausman J.-F., Cuypers A., Sergeant K. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019, vol. 20, no. 4210.
9. Kern E. E. *Iva, ee znachenie, razvedenie i upotreblenie* [Willow, its meaning, breeding and use]. Petrograd: Tip. Ministerstva putey soobshcheniya, 1915, 132 p. [In Russian]
10. Hallingbäck H., Fogelqvist J., Powers S. et al. *Global Change Biology Bioenergy*. 2015, vol. 8 (3), pp. 670–685. DOI 10.1111/gcbb.12280.
11. Stolarski M. J., Niksa D., Krzyżaniak M., Tworkowski J., Szczukowski S. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019, vol. 101, pp. 461–475. DOI 10.1016/j.rser.2018.11.034.
12. Welc M., Lundkvist A., Verwijst T. *BioEnergy Research*. 2017, vol. 10, pp. 1094–1104. DOI 10.1007/s12155-017-9871-2.
13. 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. DOI 10.1093/aob/mcx029.
14. McIvor I., Desrochers V. *Forests*. 2019, vol. 10, no. 517. DOI 10.3390/f10060517.
15. Fuchilo Ya. D., Sbytina M. V., Zelinskiy B. V. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018, vol. 14, no. 3, pp. 323–327. DOI 10.21498/2518-1017.14.3.2018.145310.
16. Fabio E. S., Leary C. J., Smart L. B. *Trees*. 2019, vol. 33 (4), pp. 1015–1026. DOI 10.1007/s00468-019-01835-4.
17. Doffo G. N., Monteoliva S. E., Rodríguez M. E., Luquez V. M. C. *Canadian Journal of Forest Research*. 2017, vol. 47, pp. 174–182. DOI 10.1139/cjfr-2016-0202.
18. Afonin A. A. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Nizhnevartovsk State University]. 2019, no. 2, pp. 43–50. DOI 10.36906/2311-4444/19-2/06. [In Russian]
19. *Pogoda i klimat. Klimaticheskiy monitor* [Weather and climate. Climate monitor]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor/> (accessed Sept. 10, 2020). [In Russian]
20. Afonin A. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2019, no. 4 (28), pp. 26–34. DOI 10.21685/2307-9150-2019-4-3. [In Russian]
21. 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]
22. Serebryakov I. G. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal]. 1966, vol. 51, no. 7, pp. 923–938. [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, Bryansk State
University named after academician
I. G. Petrovsky (14 Bezhitskaya street,
Bryansk, Russia)

Образец цитирования:

Афонин, А. А. Поливариантность развития побегов *Salix viminalis* на фоне избыточного атмосферного увлажнения / А. А. Афонин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 4 (32). – С. 44–53. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-4-5.