

DOI: 10.12731/2658- 6649-2021-13-5-350-366

УДК 582.623.2+633.878.31

ВОЗРАСТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДИНАМИКИ ЛИНЕЙНОГО ПРИРОСТА ПОБЕГОВ *SALIX TRIANDRA*

А.А. Афонин

Ива трехтычинковая (Salix triandra) – ценный источник прута для различных видов плетения, используется для реализации целого ряда различных экологических проектов. При изучении роста и развития насаждений S. triandra необходимо учитывать современные тенденции в изменении климата. Цель исследования: сравнительный анализ сезонной динамики линейного прироста побегов в клонах S. triandra на корнях разного возраста. Территория исследования – Брянский округ зоны широколиственных лесов. Объект данного исследования – модельная инбредно-клоновая популяция S. triandra. Материал – нарастающие однолетние побеги на одно- и двулетних черенковых саженцах четырех клонов. Наблюдения проводили в условиях крайне избыточного увлажнения в начале вегетационного периода 2021 г. на фоне умеренной засоренности травянистой рудеральной растительностью.

Длина побегов на однолетних корнях достигла 210-220 см, на двулетних – 300-340 см. Средний суточный прирост побегов на однолетних корнях составил $2,01 \pm 0,052$ см/сут (при максимуме 3,8-4,4 см/сут), на двулетних – $2,88 \pm 0,069$ см/сут (при максимуме 5,0-6,1 см/сут). Среднеквадратичная амплитуда колебаний суточного прироста побегов на однолетних корнях составила 0,79 см/сут, на двулетних корнях – 1,34 см/сут. Независимо от возраста саженцев выявлена цикличность развития побегов, обусловленная чередованием максимумов и минимумов суточного прироста. Установлена высшая степень синхронизации весенних максимумов и раннелетних минимумов. Наиболее отчетливо межклоновые различия проявились на однолетних саженцах. Выявлен клон, дающий стабильно высокие приросты побегов на корнях разного возраста в течение всего вегетационного периода. Подобные клоны рекомендуется использовать для сортоизучения и создания устойчивых полифункциональных насаждений ивы трехтычинковой.

Ключевые слова: *Salix triandra; черенковые саженцы; избыточное увлажнение; однолетние побеги; суточный прирост; сезонная динамика; цикличность развития*

Для цитирования. Афонин А.А. Возрастная изменчивость динамики линейного прироста побегов *Salix triandra* // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 5. С. 350-366. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-5-350-366

AGE-DEPENDENT VARIABILITY OF THE DYNAMICS OF LINEAR GROWTH OF *SALIX TRIANDRA* SHOOTS

A.A. Afonin

Salix triandra (almond willow) is an established crop, grown for basket-making materials. This species is also used for a wide range of environmental projects. The paper aimed to comparative analysis of the seasonal dynamics of linear growth of shoots in *S. triandra* clones on stools of different ages. The object of the study is a model inbred-clonal population of *S. triandra*. Our study analyzed the growing annual shoots on saplings from cuttings. To obtain the material, one- and two-year-old stools of four clones were used. The observations were carried out in the conditions of the vegetative period in the year 2021. The development of shoots occurred in conditions of extremely excessive atmospheric moisture at the beginning of the growing season. The study also assessed the impact of ruderal vegetation.

As a result of our observations, it was found that the length of shoots on annual stools reached 210-220 cm, on biennial stools – 300-340 cm. The average daily increment of shoots on annual stools was 2.01 ± 0.052 cm/day (with a maximum of 3.8-4.4 cm/day), on biennial stools – 2.88 ± 0.069 cm/day (with a maximum of 5.0-6.1 cm/day). The root mean square amplitude of oscillation in the daily growth of shoots on annual stools was 0.79 cm/day, on biennial stools – 1.34 cm/day. The results showed that, regardless of the age of the stool, there is a cyclic development of shoots, which is due to the alternation of the maximum and minimum daily growth. The greatest degree of synchronization of maximum and minimum values of daily shoots increment in spring and early summer is revealed. A clone has been identified that gives consistently high increment of shoots. It is recommended to use such clones to create sustainable and multifunctional crops of almond willow.

Keywords: *Salix triandra*; saplings from cuttings; excessive moisture; annual shoots; daily increment; seasonal dynamics; cyclicality of development

For citation. Afonin A.A. Age-dependent variability of the dynamics of linear growth of *Salix triandra* shoots. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 350-366. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-5-350-366

Введение

Ивы (*Salix* L. Salicaceae Mirb.) – широко распространенные деревья и кустарники умеренной зоны Северного полушария [33]. Род *Salix* включает около 450 видов с многочисленными подвидами, разновидностями, а также естественными и искусственными гибридами [34]. Благодаря своей крайней выносливости, ивы растут там, где другие деревья и кустарники расти не могут [7]. С практической точки зрения, наибольший интерес представляют быстрорастущие кустарниковые ивы, способные к размножению зимними (одревесневшими) черенками [1]. В последние десятилетия исследователей привлекают плантационные насаждения ивы с коротким оборотом срезки (short-rotation coppice, SRC). Это связано с экологическими, социальными и экономическими преимуществами, которые дает выращивание и использование древесной биомассы растений, выращиваемых на маргинальных землях [31]. Кустарниковые ивы вызывают интерес в качестве биоэнергетической культуры во влажном умеренном климате из-за высокой скорости роста, прекрасных регенеративных свойств и относительно низкой потребности в питательных веществах [18, 28]. Сырье древесной биомассы подходит для прямого сжигания, а также газификации, пиролиза, производства древесного угля, пиролизного масла, этанола или метанола с дальнейшим получением тепла, электроэнергии и биотоплива [22]. Выращивание биоэнергетических культур на деградированных и недостаточно используемых землях является многообещающим решением для удовлетворения требований в области энергетической безопасности, продовольственной безопасности и восстановления земель [25]. Плантации SRC обладают высоким потенциалом производства биомассы во многих частях мира и часто могут поддерживать экосистемные услуги, связанные с круговоротом питательных веществ [32].

Существенным фактором, связанным с функционированием наземных экосистем, является изменение климата. На территории России продолжается потепление, темпы которого намного превышают средне-глобальные [12]. Ожидается, что изменение климата негативно скажется на природных экосистемах и ухудшит их функционирование [8]. Отмечается необходимость исследования микроклиматического потенциала каждой территории или региона [13]. Одним из факторов, определяющих тенденции в изменении климата, является углеродный баланс. Ключевую роль в глобальном углеродном цикле играют лесные экосистемы [21]. Ивовые плантации SRC представляют значительный интерес не только как источник биомассы для топлива, но и как поглотитель углерода [12, 24, 26]. Ожидается, что полу-

чение энергетической биомассы на плантациях SRC будет способствовать смягчению последствий изменения климата [17, 30].

Рост растений на ранних этапах онтогенеза ограничивается не только погодно-климатическими факторами, но и сорной (рудеральной) растительностью [19]. Сорняки могут оказывать сильное негативное влияние на выживание и производство биомассы, приводя к снижению роста или разрывам в насаждении [16]. При конкуренции с сорными растениями за свет, воду и прочие ресурсы укоренившиеся черенки ив оказываются менее устойчивыми и с течением времени выпадают. Наличие сорняков, особенно в первые два-три года, не только сильно понижает урожай ивы, но и может привести к гибели плантации [11]. Ранняя изменчивость размера растений из-за конкуренции с сорняками, различий в окружающей среде или различий в качестве черенков со временем увеличивается и приводит к иерархии размеров и большим пробелам в насаждении [16]. Поэтому особое внимание на уничтожение сорных трав нужно обратить в первые два года жизни растений [7]. В современной практике при создании сырьевых плантаций ивы для борьбы с сорной растительностью используются гербициды [14, 20]. Использование гербицидов при создании защитных насаждений во многих случаях совершенно неприемлемо. В этих случаях надежный способ повышения сохранности насаждений ив – повышение их конкурентоспособности по отношению к сорной растительности [14]. Ранее нами было показано, что для оптимизации пестицидной нагрузки в насаждениях ив интенсивного типа следует учитывать ритмы нарастания побегов [2].

Ива трехтычинковая – *S. triandra* L. (syn. *S. amygdalina* L.) – общеизвестный представитель быстрорастущих кустарниковых ив [27]. Ценится, прежде всего, как источник зеленого и белого прута, который используется для различных видов плетения: для изготовления корзин, плетеной мебели и прочих изделий [7, 11, 23]. В то же время, *S. triandra* не рекомендуется для плантационного выращивания на пахотных землях, поскольку ее урожайность значительно ниже по сравнению с высокопродуктивными гибридами других видов ив [29]. Ива трехтычинковая широко используется в защитном лесоразведении при закреплении берегов рек, оползней, обрывов и склонов балок [7, 11]. Ранее нами было показано, что *S. triandra* может использоваться как имеющая практическую ценность модель для выявления закономерностей морфогенеза побегов [3]. Известно, что между клонами ив существуют значительные различия в их способности конкурировать с сорняками [14]. Однако совместное влияние фактора клона и

фактора возраста на сезонную динамику развития побегов кустарниковых ив изучено недостаточно.

Цель данного исследования: сравнительный анализ сезонной динамики линейного прироста побегов в клонах *S. triandra* на корнях разного возраста в сложившихся погодно-климатических условиях на фоне умеренной засоренности сорной растительностью.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в почвенно-климатических условиях Брянского округа зоны широколиственных лесов (район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации), в салицетуме Брянского государственного университета (53°16'23" с.ш., 34°21'11" в.д.). Тип почв: серые лесные, на лёссовидном карбонатном суглинке. Тип лесорастительных условий: D3 (мезогигрофильная дубрава). Исходный тип растительности: *Quercetum coryloso-aegopodiosum*. Сплошная обработка (перекопка) почвы была проведена в 1999 г. В настоящее время междурядья заполнены травянистыми рудеральными видами: *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski, *Erigeron canadensis* L., *Ranunculus repens* L., *Setaria viridis* (L.) P.Beauv., *Sonchus arvensis* L., *Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F.H.Wigg., *Poa pratensis* L.

Для анализа многолетней (2009–2021 гг.) динамики температуры воздуха $T^{\circ}\text{C}$ и количества осадков R (мм) в течение периода вегетации (май-август) использовали данные web-ресурса «Погода и климат. Климатический монитор. Брянск» (метеостанция «Брянск»: 53°12'45" с.ш., 34°10'54" в.д.) [10]. Анализ многолетней динамики погодно-климатических факторов – $T^{\circ}\text{C}$ и R – проводили в соответствии с рекомендациями других авторов [9]. Для анализа динамики погодных условий в течение вегетационного периода 2021 г. использовали подекадное распределение $T^{\circ}\text{C}$ и R . Межгодовую и внутригодовую неравномерность распределения $T^{\circ}\text{C}$ и R оценивали с помощью коэффициента вариации.

Объект исследований – модельная инбредно-клоновая популяция *S. triandra*. История родоначальников клонов – семян третьего поколения, полученных в культуре путем регулярного инбридинга – описана нами ранее [4]. В данном исследовании использовали модуль из четырех высокопродуктивных клонов: *tr 04*, *tr 05*, *tr 18*, *tr 20*. Клональные реплики получили в 2020 и 2021 гг. путем посадки неукорененных черенков длиной 25 см, нарезанных из базальных частей маточных побегов. Посадка (в подготовленные с осени ямы) вертикальная, с заглублением до одной

верхней почки. Схема размещения тригонально-линейная с расстоянием между посадочными местами 1 м.

Клональные реплики 2020 г. создали путем посадки черенков, заготовленных с родоначальников клонов – маточных растений семенного происхождения. Дата посадки 10.04.20. Повторность 4-кратная. Следующей весной саженцы обрезали на высоте 20 см, а срезанные побеги использовали для создания клональных реплик 2021 г. Дата посадки 18.04.21. Повторность 3-кратная. Каждый черенковый саженец формировался в один побег. В качестве материала использовали однолетние побеги на корнях второго и первого года жизни. Для получения исходных данных на протяжении мая-августа 2021 г. каждые 4 сут производили измерение длины побегов (L , см). Далее рассчитывали суточный прирост побегов (ΔL , см/сут), выровненный методом скользящей временной рамки шириной 8 сут и шагом 4 сут.

Полученные результаты обработали с использованием стандартных методов вариационной статистики. Для оценки сезонного размаха изменчивости суточного прироста побегов вычисляли среднеквадратичную амплитуду A_{RMS} – квадратный корень из среднего квадрата фактических отклонений ΔL от среднегодового прироста. На основании полученных временных рядов построили и проанализировали графики сезонной динамики ΔL . Подробная методика получения исходных данных и алгоритм анализа рядов динамики описаны нами ранее [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ линейных трендов многолетней динамики погодно-климатических условий на территории района исследований показал, что расчетная средняя годовая температура в период с 1976 г. по 2020 г. увеличилась на 3,1°C: с 4,6°C до 7,7°C. Расчетная годовая сумма осадков за этот же период не изменилась и составила 670-672 мм. Если же рассматривать многолетнюю динамику погодно-климатических условий в весенне-летние месяцы 2009...2021 гг. (рис. 1), то картина оказывается более сложной.

После аномально жаркого лета 2010 г. средние летние температуры обнаружили тенденцию к некоторому снижению. Неравномерность распределения средних температур в летние месяцы разных лет составила 6,4%. После дождливого лета 2011 г. сумма осадков в летние месяцы на несколько лет стабилизировалась с некоторым дефицитом в 2014 и 2018 гг. Неравномерность распределения осадков в мае-августе разных лет составила 29,1%. Начало 2020-х гг. охарактеризовалось избыточным увлажнением в течение мая-июня 2020 и 2021 гг. и повышением летних температур в 2021 г.

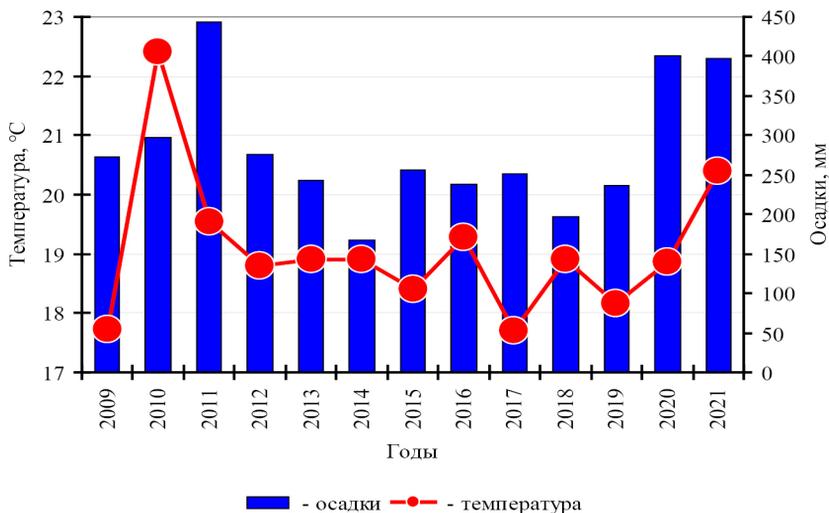


Рис. 1. Динамика погодно-климатических условий в весенне-летние месяцы 2009...2021 гг.

Примечание. Средние температуры рассчитаны за июнь-август, суммы осадков рассчитаны за май-август.

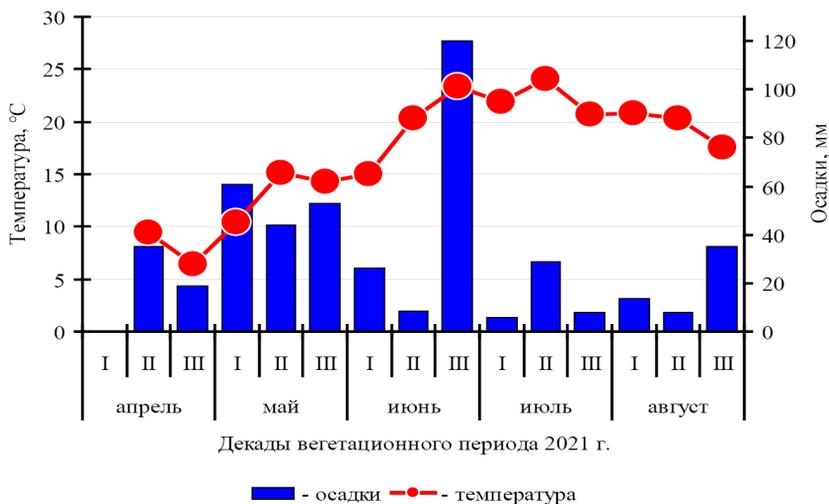


Рис. 2. Подекадная динамика погодных условий в весенне-летние месяцы 2021 гг.

Примечание. Средние температуры рассчитаны за июнь-август, суммы осадков рассчитаны за май-август.

Начало и первая половина вегетационного периода 2021 г. охарактеризовались избыточным атмосферным увлажнением: с 11 апреля по 30 июня выпало 366 мм осадков. Далее – с 1 июля по 20 августа – выпало всего 65 мм. Подекадная неравномерность распределения осадков составила 92%. Отклонение от нормы среднемесячной температуры в апреле и мае составило $-0,4^{\circ}\text{C}$, в июне $+1,9^{\circ}\text{C}$, в июле $+2,6^{\circ}\text{C}$, в августе $+1,4^{\circ}\text{C}$. Подекадная неравномерность распределения температур в период с 21 апреля по 20 августа составила 33%. В результате жаркой сухой погоды во второй половине вегетационного периода сложилась ситуация кратковременной атмосферной засухи.

Активный рост побегов начался 17 мая – к этому времени их длина достигла 3-8 см. В последней декаде июля часть побегов завершила свой рост с отмиранием верхушечной почки, а часть продолжила рост в августе и достигла длины более 150 см. Последняя дата прекращения роста – 21 августа. Побеги, завершившие рост в августе, были использованы для дальнейшего анализа. Самые сильные побеги на однолетних корнях достигли длины 210-220 см, на двухлетних корнях – 300-340 см. Средний суточный прирост побегов на однолетних корнях составил $2,01 \pm 0,052$ см/сут, на двухлетних корнях – $2,88 \pm 0,069$ см/сут (различия статистически достоверны при $P < 0,001$). Среднеквадратичная амплитуда колебаний суточного прироста побегов – A_{RMS} – на однолетних корнях составила 0,79 см/сут, на двухлетних корнях – 1,34 см/сут, т.е. в 1,7 раза больше.

Сезонная динамика суточного прироста побегов – ΔL , см/сут – на однолетних корнях показана на рисунке 3 (для сравнения приведены побеги на двухлетних корнях).

На всех однолетних саженцах сезонная динамика суточного прироста побегов носит циклический характер, обусловленный чередованием максимумов и минимумов ΔL . Полный цикл развития побегов включает 4 цикла продолжительностью 16-24 сут. Выявлена высшая степень синхронизации весенних максимумов ΔL (25 мая) и раннелетних минимумов ΔL (2 июня). Максимумы ΔL 18 июня и 8 июля и разделяющие их минимумы 30 июня синхронизированы на большинстве побегов. После 16 июля синхронизация пиковых значений ΔL постепенно исчезает. Межклоновые и внутриклоновые различия в динамике ΔL наиболее отчетливо проявляются при прохождении максимумов в период с 14 по 26 июня. Стабильно высокий суточный прирост – 3,8-4,4 см/сут – выявлен на побегах клона *tr04*; умеренный суточный прирост – 2,8-2,9 см/сут – на побегах клонов *tr05* и *tr20*; самый низкий суточный прирост – 2,6 см/сут – на побегах клона *tr18*. На одном из побегов клона *tr20* максимумы суточного прироста слабо

выражены, но зато на одном из побегов клона *tr18* выявлено достаточно высокое значение ΔL – 3,3 см/сут – на последующем максимуме (8 июля).

Сезонная динамика суточного прироста побегов – ΔL , см/сут – на двухлетних корнях показана на рисунке 4 (для сравнения приведены побеги на однолетних корнях).

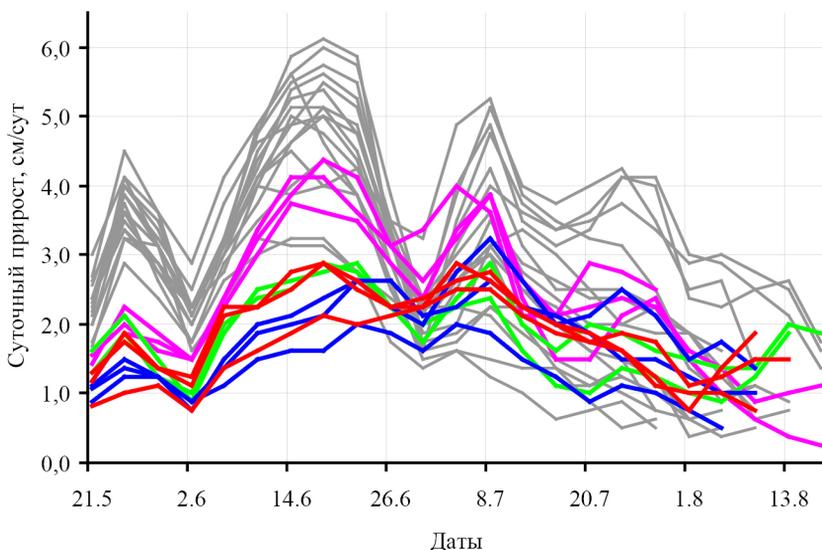


Рис. 3. Сезонная динамика суточного прироста побегов на однолетних корнях.
Примечание. Розовым цветом показаны побеги клона *tr04*, зеленым – клона *tr05*, синим – клона *tr18*, красным – клона *tr20*; серым цветом показаны побеги на двухлетних корнях.

Общие закономерности сезонной динамики суточного прироста побегов на двухлетних корнях те же, что и на однолетних. Однако межклоновые и внутриклоновые различия в динамике ΔL выражены более ярко вследствие большей среднеквадратичной амплитуды A_{RMS} . Максимумы ΔL 18 июня отчетливо выражены на всех побегах. Наибольший суточный прирост – 5,0-6,1 см/сут – выявлен для клонов *tr04*, *tr05*, *tr20*; наименьший – 4,4-4,5 см/сут – для клона *tr18*. В то же время, на единичных побегах клонов *tr18* и *tr20* выявлены низкие значения ΔL – 3,3 см/сут. Начиная с максимума 8 июля, межклоновые различия усиливаются: высокий суточный прирост сохраняется на сильных побегах клонов *tr04* и *tr20*, а на побегах клона *tr05* суточный прирост резко снижается.

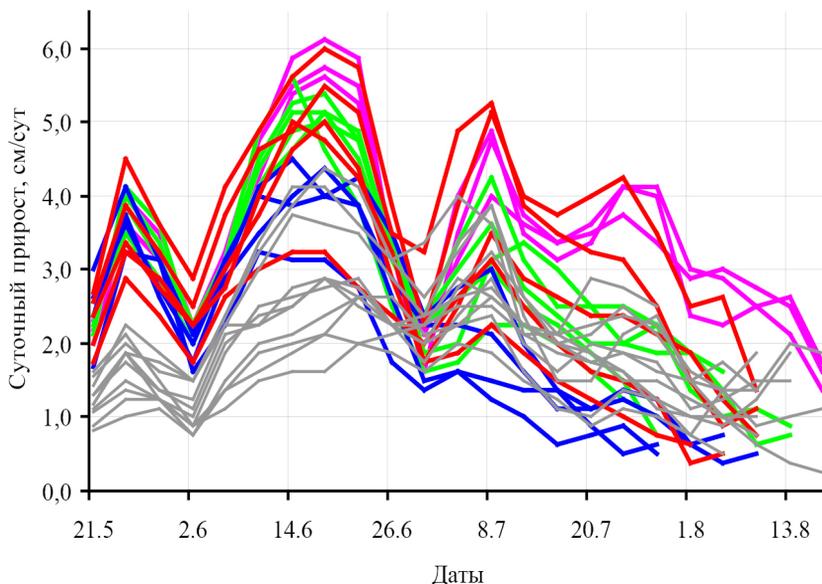


Рис. 4. Сезонная динамика суточного прироста побегов на двухлетних корнях.
Примечание. Цветовая легенда та же, что на рис 3; серым цветом показаны побегов на однолетних корнях.

Заключение

На территории района исследований выявлена относительная стабилизация погодно-климатических условий в течение вегетационных периодов 2009-2021 гг. Вместе с тем установлена значительная неравномерность выпадения осадков в весенне-летний период как многолетняя разногодичная, так и подекадная в течение одного года. На этом основании можно предположить, что в сложившихся почвенно-климатических реалиях больше внимание следует уделить не температурному фактору, а межгодовым и внутригодовым распределениям осадков, что не противоречит результатам, полученных другими исследователями [5].

В условиях данного эксперимента получены высокие годовичные приросты однолетних побегов *S. triandra*, превышающие приросты побегов высокопродуктивных энергетических клонов *Salix* spp. [6]. Примерно 50% годовичного прироста побегов было обеспечено высоким суточным приростом на протяжении июня. Однако часть побегов продолжила достаточно интенсивный рост и во второй половине лета.

Выявлена цикличность сезонной динамики суточного прироста побегов на одно- и двулетних черенковых саженцах одних и тех же клонов. Установлено, что, независимо от возраста саженцев, в начале вегетационного периода ритмы развития побегов синхронизированы в высшей степени. Во второй половине вегетационного периода эти ритмы постепенно десинхронизируются.

Основные различия между одно- и двулетними саженцами заключаются в увеличении амплитуды суточного прироста на втором году жизни. В модельной популяции выявлен клон, дающий стабильно высокие суточные приросты побегов независимо от возраста саженцев, и клон с низкими суточными приростами. Межклоновые различия сильнее выражены на побегах однолетних саженцев. В единичных случаях на некоторых саженцах одного и того же клона развивались ослабленные побеги.

Возрастная изменчивость в большей степени проявилась в период интенсивного роста побегов. Суточный прирост сильных побегов на саженцах первого года жизни оказался сравним с суточным приростом слабых побегов на саженцах второго года жизни. Во второй половине вегетационного периода возрастные различия постепенно нивелировались. Отрицательное влияние позднелетней кратковременной атмосферной засухи на развитие побегов не выявлено.

Таким образом, установлено, что существуют клоны *S. triandra* с высокими темпами развития побегов на корнях первого и второго года жизни в условиях избыточного атмосферного увлажнения и умеренной засоренности рудеральными видами травянистых растений. Такие клоны рекомендуется использовать для сортоизучения и создания устойчивых полифункциональных насаждений ивы трехтычинковой без применения гербицидов даже в первые годы жизни.

Список литературы

1. Анциферов Г.И. Ива. М.: Лесная промышленность, 1984. 101 с.
2. Афонин А.А. Хронобиологические аспекты оптимизации пестицидной нагрузки в насаждениях ивы корзиночной (*Salix viminalis* L.) интенсивного типа // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2019. №2. С. 43–50. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/19-2/06>
3. Афонин А.А. Сезонная динамика длины междоузлий *Salix triandra* L. (Salicaceae) на фоне кратковременной атмосферной засухи // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2021. №.1(209). С. 104–112. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2021-1-104-112>

4. Афонин А.А. Эпигенетическая изменчивость структуры сезонной динамики развития побегов ивы трехтычинковой (*Salix triandra*, Salicaceae) // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2021. №2(38). С. 1–14. <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2021.38.1>
5. Газарян В.А., Курбатова Ю.А., Овсянников Т.А., Шапкина Н.Е. Статистический анализ циклических изменений в рядах динамики метеорологических показателей на юго-западе Валдайской возвышенности // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2018. №1. С. 61–67.
6. Епанчинцева О.В., Тишкина Е.А., Мишихина Ю.Д. Динамика прироста ив при использовании различных агротехнических приёмов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. №4(84). С. 97–103.
7. Керн Э.Э. Ива, ее значение, разведение и употребление. 4-е изд., вновь перераб. Петроград: Тип. Мин-ва Путей Сообщения, 1915. 134 с.
8. Крестов П.В., Корзников К.А., Кислов Д.Е. Коренные изменения наземных экосистем в России в XXI веке // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 6. С. 514–521. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587320060067>
9. Михалап С.Г., Мингалев Д.Э., Евдокимов С.И. Использование анализа временных рядов в изучении многолетних температурных изменений // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2014. №4. С. 17–24.
10. Погода и климат. Климатический монитор. <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php> (дата обращения 02.09.2021)
11. Правдин Л.Ф. Ива, ее культура и использование. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 168 с.
12. Сиптиц С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России // Проблемы прогнозирования. 2021. №2(185). С. 75–86. <https://doi.org/10.1134/S1075700721020040>
13. Щербакова А.С. Агроклиматические районы и урожайность сельскохозяйственных культур в изменяющихся условиях регионального климата // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т.16. №1(61). С. 142–147. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-142-147>
14. Albertsson J., Verwijst T., Rosenqvist H., Hansson D., Bertholdsson N.O., Åhman I. Effects of mechanical weed control or cover crop on the growth and eco-

- onomic viability of two short-rotation willow cultivars // *Biomass and Bioenergy*, 2016, vol. 91, pp. 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.030>
15. Cunniff J., Purdy S.J., Barraclough T.J.P., Castle M., Maddison A.L., Jones L.E., Shield I.F., Gregory A.S., Karp A. High yielding biomass genotypes of willow (*Salix* spp.) show differences in below ground biomass allocation // *Biomass and Bioenergy*, 2015, vol. 80, pp. 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.020>
 16. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. Establishment and Early Growth of Willow at Different Levels of Weed Competition and Nitrogen Fertilization // *BioEnergy Research*, 2016, vol. 9, pp. 763–772. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9723-5>
 17. Fabio E.S., Kemanian A.R., Montes F. Miller R.O., Smart L.B. A mixed model approach for evaluating yield improvements in interspecific hybrids of shrub willow, a dedicated bioenergy crop // *Industrial Crops and Products*, 2017, vol. 96, pp. 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.019>
 18. Fabio E.S., Smart L.B. Differential growth response to fertilization of ten elite shrub willow (*Salix* spp.) bioenergy cultivars // *Trees*, 2018, vol. 32, pp. 1061–1072. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1695-y>
 19. Gavrylyuk L., Nemchenko A. Weeds – powerful competitors for young plants the willow rootworm *Salix viminalis* L. // *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, 2018, vol. 64, pp. 34–40. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.34-40>
 20. Han Q., Harayama H., Uemura A., Ito E., Utsugi H., Kitao M., Maruyama Y. High Biomass Productivity of Short-Rotation Willow Plantation in Boreal Hokkaido Achieved by Mulching and Cutback // *Forests*, 2020, vol. 11, p. 505. <https://doi.org/10.3390/f11050505>
 21. Isabel N., Holliday J.A., Aitken S.N. Forest genomics: Advancing climate adaptation, forest health, productivity, and conservation // *Evolutionary Applications*, 2020, vol. 13(1), pp. 3–10. <https://doi.org/10.1111/eva.12902>
 22. Nemethy S., Szemethy L. Adverse and Beneficial Effects of Woody Biomass Feedstock Plantations on Biodiversity and Wildlife Habitats // *Acta Regionalia et Environmentalica*, 2020, vol. 16, no. 2, pp. 25–33. <https://doi.org/10.2478/aree-2019-0006>
 23. Noleto-Dias C., Wu, Y., Bellisai A., Macalpine W., Beale M.H., Ward J.L. Phenylalkanoic Glycosides (Non-Salicinoids) from Wood Chips of *Salix triandra* × *dasyclados* Hybrid Willow // *Molecules*, 2019, vol. 24 (6), p. 1152. <https://doi.org/10.3390/molecules24061152>
 24. Pietrzykowski M., Woś B., Tylek P., Kwaśniewski D., Juliszewski T., Walczyk J., Likus-Cieślak J., Ochał W., Tabor S. Carbon sink potential and allocation

- in above- and below-ground biomass in willow coppice // Journal of Forestry Research, 2021, vol. 32, pp. 349–354. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01089-3>
25. Rahman S.A., Baral H., Sharma R., Samsudin Y.B., Meyer M., Lo M., Artati Y., Simamora T.I., Andini S., Leksono B., Roshetko J.M., Lee S.M., Sunderland T. Integrating bioenergy and food production on degraded landscapes in Indonesia for improved socioeconomic and environmental outcomes // Food and Energy Security, 2019, vol. 8(3), p. e00165. <https://doi.org/10.1002/fes3.165>
 26. Scriba C., Lunguleasa A., Salca E.-A., Ciobanu V.D. Properties of biomass obtained from short-rotation Inger willow clone grown on a contaminated and non-contaminated land // Maderas. Ciencia y Tecnología, 2021, vol. 23(14), pp. 1–12. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100414>
 27. Skvortsov A.K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.
 28. Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M. Extensive Willow Biomass Production on Marginal Land // Polish Journal of Environmental Studies, 2019, vol. 28(6), pp. 4359–4367. <https://doi.org/10.15244/pjoes/94812>
 29. Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J., Przyborowski J., Klasa A. Productivity of willow coppice plants grown in short rotations // Plant Soil Environ, 2005, vol. 51(9), pp. 423–430.
 30. Vanbeveren S.P.P., Ceulemans R. Biodiversity in short-rotation coppice // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, vol. 111, pp. 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.012>
 31. Warmański K., Stolarski M. J., Gil L., Krzyżaniak M. Willow bark and wood as a source of bioactive compounds and bioenergy feedstock // Industrial Crops and Products, 2021, vol. 171. p. 113976. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113976>
 32. Weih M., Nordh N.-E., Manzoni S., Hoeber S. Functional traits of individual varieties as determinants of growth and nitrogen use patterns in mixed stands of willow (*Salix* spp.) // Forest Ecology and Management, 2021, vol. 479, p. 118605. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118605>
 33. Wu J., Nyman T., Wang D.-C., Argus G.W., Yang Y.-P., Chen J.-H. Phylogeny of *Salix* subgenus *Salix* s.l. (Salicaceae): delimitation, biogeography, and reticulate evolution // BMC Evolutionary Biology, 2015, vol. 15. p. 31. <https://doi.org/10.1186/s12862-015-0311-7>
 34. Wu Q., Liang X., Dai X., Chen Y., Yin T. Molecular discrimination and ploidy level determination for elite willow cultivars // Tree Genetics & Genomes, 2018, vol. 14, p. 65. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1281-x>

References

1. Anciferov G.I. *Iva* [Willow]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984, 101 p.
2. Afonin A.A. *Vestnik Nizhneartovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Nizhneartovsk State University], 2019, no. 2. pp. 54–57. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/19-2/06>
3. Afonin A.A. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science], 2021, no.1, pp. 104–112. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2021-1-104-112>
4. Afonin A.A. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyj nauchnyj zhurnal* [Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal], 2021, no. 2(38), pp. 1–14. <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2021.38.1>
5. Gazaryan V.A., Kurbatova YU.A., Ovsyannikov T.A., SHapkina N.E. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya* [Moscow University Physics Bulletin], 2018, no. 1, pp. 61–67.
6. Epanchintseva O.V., Tishkina E.A., Mishchikhina Yu.D. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2020, no. 4 (84), pp. 97–103.
7. Kern E.E. *Iva, ee znachenie, razvedenie i upotreblenie* [Willow, its meaning, breeding and consumption]. Petrograd: Tip. Min-va Putej Soobshcheniya, 1915, 134 p.
8. Krestov P.V., Korznikov K.A., Kislov D.E. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk* [Herald of the Russian Academy of Sciences], 2020, vol. 90, no. 6, pp. 514–521. <https://doi.org/10.31857/S0869587320060067>
9. Mihalap S.G., Mingalev D.E., Evdokimov S.I. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i fiziko-matematicheskie nauki* [Bulletin of the Pskov state university. Series: Natural and physical and mathematical sciences], 2014, no. 4, pp. 17–24.
10. *Pogoda i klimat. Klimaticheskij monitor* [Weather and climate. Climate monitor]. <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php> (accessed September 2, 2021)
11. Pravdin L.F. *Iva, ee kul'tura i ispol'zovanie* [Willow, its culture and usage]. Moscow: AN SSSR Publ., 1952, 168 p.
12. Siptic S.O., Romanenko I.A., Evdokimova N.E. *Problemy prognozirovaniya* [Forecasting problems], 2021, no. 2(185), pp. 75–86. <https://doi.org/10.1134/S1075700721020040>
13. Scherbakova A.S. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Kazan State Agrarian University], 2021, vol. 16, no. 1(61), pp. 142–147. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-142-147>

14. Albertsson J., Verwijst T., Rosenqvist H., Hansson D., Bertholdsson N.O., Åhman I. *Biomass and Bioenergy*, 2016, vol. 91, pp. 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.030>
15. Cunniff J., Purdy S.J., Barraclough T.J.P., Castle M., Maddison A.L., Jones L.E., Shield I.F., Gregory A.S., Karp A. *Biomass and Bioenergy*, 2015, vol. 80, pp. 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.020>
16. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. *BioEnergy Research*, 2016, vol. 9, pp. 763–772. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9723-5>
17. Fabio E.S., Kemanian A.R., Montes F. Miller R.O., Smart L.B. *Industrial Crops and Products*, 2017, vol. 96, pp. 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.019>
18. Fabio E.S., Smart L.B. *Trees*, 2018, vol. 32. pp. 1061–1072. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1695-y>
19. Gavrylyuk L., Nemchenko A. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, 2018, vol. 64, pp. 34–40. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.34-40>
20. Han Q., Harayama H., Uemura A., Ito E., Utsugi H., Kitao M., Maruyama Y. *Forests*, 2020, vol. 11, p. 505. <https://doi.org/10.3390/fl1050505>
21. Isabel N., Holliday J.A., Aitken S.N. *Evolutionary Applications*, 2020, vol. 13(1), pp. 3–10. <https://doi.org/10.1111/eva.12902>
22. Nemethy S., Szemethy L. *Acta Regionalia et Environmentalica*, 2020, vol. 16, no. 2, pp. 25–33. <https://doi.org/10.2478/aree-2019-0006>
23. Noleto-Dias C., Wu, Y., Bellisai A., Macalpine W., Beale M.H., Ward J.L. *Molecules*, 2019, vol. 24 (6), p. 1152. <https://doi.org/10.3390/molecules24061152>
24. Pietrzykowski M., Woś B., Tylek P., Kwaśniewski D., Juliszewski T., Walczyk J., Likus-Cieślak J., Ochał W., Tabor S. *Journal of Forestry Research*, 2021, vol. 32, pp. 349–354. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01089-3>
25. Rahman S.A., Baral H., Sharma R., Samsudin Y.B., Meyer M., Lo M., Artati Y., Simamora T.I., Andini S., Leksono B., Roshetko J.M., Lee S.M., Sunderland T. *Food and Energy Security*, 2019, vol. 8(3), p. e00165. <https://doi.org/10.1002/fes3.165>
26. Scriba C., Lunguleasa A., Salca E.-A., Ciobanu V.D. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 2021, vol. 23(14), pp. 1–12. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100414>
27. Skvortsov A.K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.
28. Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworowski J., Krzyżaniak M. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2019, vol. 28(6), pp. 4359–4367. <https://doi.org/10.15244/pjoes/94812>

29. Szczukowski S., Stolarski M., Tworowski J., Przyborowski J., Klasa A. *Plant Soil Environ*, 2005, vol. 51(9), pp. 423–430.
30. Vanbeveren S.P.P., Ceulemans R. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, vol. 111, pp. 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.012>
31. Warmiński K., Stolarski M.J., Gil Ł., Krzyżaniak M. *Industrial Crops and Products*, 2021, vol. 171, p. 113976. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113976>
32. Weih M., Nordh N.-E., Manzoni S., Hoerber S. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 479, p. 118605. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118605>
33. Wu J., Nyman T., Wang D-C., Argus G.W., Yang Y-P., Chen J-H. *BMC Evolutionary Biology*, 2015, vol. 15, p. 31. <https://doi.org/10.1186/s12862-015-0311-7>
34. Wu Q., Liang X., Dai X., Chen Y., Yin T. *Tree Genetics & Genomes*, 2018, vol. 14, p. 65. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1281-x>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Афонин Алексей Алексеевич, профессор, доктор сельскохозяйственных наук

*Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского
ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241023, Российская Федерация
afonin.salix@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Alexey A. Afonin, Professor, Doctor of Agricultural Sciences

*Bryansk State Academician I.G. Petrovski University
14, Bezhickaya Str., Bryansk, 241023, Russian Federation*

afonin.salix@gmail.com

SPIN-code: 6176-0399

ORCID: 0000-0002-9392-2527

Поступила 15.09.2021

После рецензирования 30.09.2021

Принята 05.10.2021

Received 15.09.2021

Revised 30.09.2021

Accepted 05.10.2021