

Динамика развития побегов *Salix triandra* на саженцах, выращенных из базальных и апикальных черенков

А. А. Афонин¹✉

¹Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, Брянск, Россия

✉E-mail: afonin.salix@gmail.com

Аннотация. Цель – выявить закономерности развития побегов на однолетних саженцах *S. triandra*, выращенных из черенков, взятых из разных частей маточных побегов. **Методология и методы исследования.** Объект исследования – модельная инбредно-клоновая популяция *S. triandra*. Экспериментальная группа – реплики восьми клонов. Варианты для каждого клона – однолетние саженцы, выращенные из базальных и апикальных черенков. Повторность: трехкратная. Материал – нарастающие однолетние побеги. Исследования проводились в почвенно-климатических условиях Брянского округа зоны широколиственных лесов. Наблюдения велись на фоне избыточного атмосферного увлажнения в период укоренения черенков. В ходе исследования применялись хронобиологический анализ и численный анализ временных рядов. **Результаты.** Сезонный прирост побегов на базальных черенках составил 148–219 см, на апикальных – 95–171 см. Максимальный суточный прирост побегов на базальных черенках – $2,59 \pm 0,148$ см/сут, на апикальных – $1,86 \pm 0,085$ см/сут. Самые высокие значения суточного прироста побегов на базальных черенках выявлены в середине июня, на апикальных – в середине июля. Продолжительность многодневных циклов суточного прироста составила 16–26 сут. независимо от фактора клона и происхождения черенков. Максимальное число многодневных циклов не превышает 5. На побегах клонов с наиболее высоким суточным приростом число многодневных циклов уменьшается до 3–4. **Научная новизна.** В условиях данного эксперимента установлена цикличность развития всех исследованных побегов *S. triandra*. Многодневные циклы суточного прироста в высшей степени синхронизированы в первой половине вегетационного периода независимо от фактора клона и происхождения черенков. Размах колебаний суточного прироста побегов на базальных черенках определяется, прежде всего, фактором клона. Этот же размах колебаний на апикальных черенках в большей мере определяется внутриклоновой изменчивостью. Для создания насаждений *S. triandra* рекомендуется использовать в первую очередь черенки из базальных частей побегов. При нехватке посадочного материала допустимо использовать верхушки побегов с учетом фактора маточных клонов.

Ключевые слова: ива трехтычинковая, *Salix triandra*, почвенно-климатические условия, погодно-климатические условия, стеблевые черенки, однолетние саженцы, однолетние побеги, суточный прирост, сезонная динамика, цикличность прироста.

Для цитирования: Афонин А. А. Динамика развития побегов *Salix triandra* на саженцах, выращенных из базальных и апикальных черенков // Аграрный вестник Урала. 2022. № 09 (224). С. 2–12. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-2-12.

Дата поступления статьи: 13.06.2022, **дата рецензирования:** 30.06.2022, **дата принятия:** 12.07.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Ивы (*Salix* L., Salicaceae Mirb.) – это многочисленная группа двудомных листопадных деревьев и кустарников, широко распространенных в умеренных широтах Северного полушария. Многие виды ив используются для создания насаждений комплексного назначения благодаря таким качествам, как быстрый рост, неприхотливость, способность к размножению одревесневшими черенками [1, с. 3–4; 2, с. 9; 3, с. 1608]. Ивы занимают важное место в концепции экстенсивного земледелия,

особенно на маргинальных почвах, которые малопригодны или непригодны для выращивания продовольственных культур, на почвах, которые периодически исключаются из использования, и на некоторых залежных землях [4, с. 225; 5]. Особую популярность быстрорастущие кустарниковые ивы получили после скачка цен на импортируемую нефть во второй половине 1970-х гг., когда стали создаваться культуры с коротким оборотом срезки (short-rotation coppice – SRC), предназначенные для выращивания энергетической биомассы [6, с. 358].

На протяжении последних десятилетий энергия из биомассы играла заметную роль в глобальной энергетической системе [7, с. 274]. Важное преимущество биоэнергетики перед другими возобновляемыми источниками энергии заключается в том, что энергетическая биомасса может храниться, перерабатываться и использоваться при необходимости [8, с. 34]. Использование недавно заброшенных пахотных земель для производства возобновляемой энергии является многообещающим вариантом для энергоснабжения при одновременном снижении конкуренции за землю и продовольственную безопасность [9, с. 45]. Таким образом, выращивание биоэнергетических культур на деградированных и недостаточно используемых землях позволяет решить ряд взаимосвязанных проблем в области энергетической безопасности, продовольственной безопасности и восстановления земель [10]. Известно, что лесные экосистемы играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, обеспечивают важные экологические услуги и ресурсы – от среды обитания для биоразнообразия до производства экологически чистых продуктов [11, с. 3]. В то же время возникают вопросы, касающиеся экологической, социальной и экономической устойчивости производства древесной биомассы, связанные с землепользованием, защитой мест обитания диких животных, сохранением и восстановлением ландшафтов [12, с. 25]. В глобальном энергетическом балансе биоэнергетика имеет наибольший смысл в качестве переходного элемента из-за ограниченности земель, изначально низкой выработки энергии на единицу площади и быстрого технологического прогресса в конкурирующих технологиях [7, с. 274]. Производство биомассы и круговорот питательных веществ можно увеличить, поддерживая дифференциацию экосистемных ниш за счет увеличения количества видов или разновидностей растений, выращиваемых в насаждении [13]. Разнообразие посадочного материала порождает разнообразие морфологии побегов, ветвей и листьев, что приводит к увеличению структурных ниш и увеличению неоднородности растительности. Мультигенотипные SRC обеспечивают большую устойчивость к вредителям и болезням, что снижает экономические риски, связанные с потерями биомассы. Установлено, что энергетические культуры с коротким оборотом срезки (SRC) обеспечивают высокое биоразнообразие членистоногих и мелких позвоночных по сравнению с сельскохозяйственными монокультурами, хотя и меньшее, чем в смешанных лиственных лесах [8, с. 34].

Кустарниковые ивы наиболее перспективны для использования в качестве специальной биоэнергетической культуры из-за высокой скорости роста, прекрасных регенеративных свойств и относительно низкой потребности в питательных веществах

[14, с. 1061]. Плантации ивы с коротким оборотом обладают высоким потенциалом производства биомассы во многих частях мира и часто могут поддерживать экосистемные услуги, связанные с круговоротом питательных веществ [13]. Сырьевые плантации ивы с коротким оборотом срезки представляют значительный интерес как поглотитель углерода [15, с. 349].

Проблемы биоэнергетики тесно связаны с проблемами глобальных климатических изменений, которые наиболее заметно проявляются на территории России [16]. Кустарниковые ивы выращиваются в качестве специальной биоэнергетической культуры преимущественно во влажном умеренном климате [14, с. 1061]. Ожидается, что именно в этих регионах изменение климата приведет к непредсказуемости осадков в вегетационный период [17, с. 1015]. Изменение климата увеличит частоту экстремальных дождей, вызывая больше эпизодов наводнений [18, с. 415]. В гетерогенных средах, включая те, которые подвергают растения частым колебаниям климата, приспособленность и продуктивность отдельных растений будет зависеть от их способности адаптироваться к быстро меняющимся условиям окружающей среды [19, с. 87].

Основной способ создания насаждений ив – посадка неукорененных черенков [20, с. 182]. Это простой и недорогой метод, который широко используется для массового размножения многих видов *Salix* и получения более однородных и генетически сходных потомков родительских растений [21]. Выращивание защитных насаждений ив из черенков – распространенный метод биоинженерии почвы и воды, используемый для стабилизации склонов и борьбы с эрозией вдоль рек [22, с. 380]. Для успешного развития черенковых саженцев решающее значение имеет этап укоренения, поскольку в этот период черенки более уязвимы к стрессам [18, с. 415]. Одним из главных факторов успешного выращивания ив в первые годы является обеспечение почвы водой [23, с. 380]. Традиционно для повышения приживаемости и сохранения черенковых саженцев рекомендуется использовать крупные и ровные черенки, заготовленные из комлевых частей маточных прутьев [20, с. 182; 24, с. 66]. При конкуренции за свет, воду и т. д. укоренившиеся верхушечные черенки оказываются менее устойчивыми и с течением времени выпадают [1, с. 53–55]. Количество посадочного материала, необходимого для создания жизнеспособных и ровных насаждений, является основной проблемой при выращивании ивы: стоимость посадочного материала составляет до 50 % общих затрат на создание ивовых плантаций [25, с. 796]. При этом различия в размерах растений при создании ивовых насаждений могут быть обусловлены как межклоновыми, так и внутриклоновыми различиями [26, с. 257].

Ива трехтычинковая – *S. triandra* L. (syn. *S. amygdalina* L.) – широко известный представитель быстрорастущих кустарниковых ив [2, с. 106]. Этот вид используется для создания насаждений различного назначения [1, с. 17]. Ранее нами было показано, что *S. triandra* может использоваться как модельный вид для изучения сезонной динамики развития побегов в условиях кратковременной атмосферной засухи [27, с. 104]. Цель данного исследования – выявить влияние происхождения черенков из разных частей маточных побегов на сезонную динамику развития однолетних саженцев в клонах *S. triandra* в условиях избыточного атмосферного увлажнения в период укоренения.

Методология и методы исследования (Methods)

Объект исследования – модельная инбредно-клоновая популяция *S. triandra* в почвенно-климатических условиях Брянского округа зоны широколиственных лесов (район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части РФ). Тип почв – серые лесные, на лессовидном карбонатном суглинке. Увлажнение корнеобитаемого слоя атмосферное, профиль автоморфный элювиальный. Тип лесорастительных условий – D3 (мезогигрофильная дубрава). Исходный тип растительности – *Quercetum coryloso-aegopodiosum*. История создания модельной популяции описана нами ранее [28].

Наблюдения проводили в течение вегетационного периода 2021 г., агрометеорологическая специфика которого заключалась в неравномерном распределении осадков и среднесуточных температур воздуха по месяцам [29]. В мае – июне выпало 297 мм осадков, что составило 214 % от нормы. Отклонение средних суточных температур от нормы в эти месяцы составило +0,73 °C. В июле выпало 43 мм осадков (52 % от нормы), в августе – 57 мм (95 % от нормы). Отклонение средних суточных температур от нормы составило +2,64 °C в июле и +1,37 °C в августе. Таким образом, первая половина вегетационного периода охарактеризовалась умеренно теплой погодой в сочетании с крайне избыточным атмосферным увлажнением, а вторая половина – жаркой погодой в сочетании с дефицитом осадков.

В качестве материала использовали нарастающие однолетние побеги *S. triandra*. Для получения побегов применяли однолетние саженцы, выращенные из неукорененных безлистных стеблевых черенков, заготовленных в день посадки (18.04.21). Длина черенков – 25 см, посадка вертикальная с заглублением до одной почки на уровне почвы. Схема посадки линейно-тригональная с расстоянием между посадочными местами 1 м). Каждый саженец формировался в один побег. Описанная технология соответствует современным рекомендациям по оптимизации раннего роста ивовых культур [25, с. 796; 30, с. 116; 31, с. 703].

Стеблевые черенки заготавливали из разных частей маточных побегов. Черенки первого типа диаметром 0,8–1,0 см нарезали из базальных частей побегов: однолетние побеги развивались из боковых пазушных почек. Для получения черенков второго типа диаметром 0,4–0,5 см использовали верхушки побегов: боковые побеги развивались из самых верхних замещающих почек. В данном исследовании использовали реплики восьми отборных клонов *S. triandra*, обозначенных в соответствии с первоначальной нумерацией сеянцев-родоначальников (*trXX*). Повторность для каждого клона и каждого типа черенков – трехкратная. В итоге было запланировано исследование 48 побегов.

Исходные данные по развитию побегов получали путем измерения их длины L (см) с интервалом 4 суток. Далее вычисляли суточный прирост побегов ΔL (см/сут) в интервале 8 суток, используя метод скользящей рамки с шагом 4 суток. В итоге были получены выровненные ряды и соответствующие графики сезонной динамики ΔL . Подробное описание получения исходных данных и построения временных рядов опубликовано нами ранее [28].

Полученные данные по суточному приросту побегов обработали с использованием стандартных процедур вариационной статистики: вычисляли средние значения M , статистические ошибки $\pm m$ и коэффициенты вариации CV (%). Размах колебаний суточного прироста побегов оценивали, используя среднеквадратичную амплитуду A_{RMS} – квадратный корень из среднего квадрата фактических отклонений ΔL от среднегодового прироста.

Результаты (Results)

Активный рост побегов на высаженных неукорененных черенках начался 21.05, к этому времени длина побегов составила 3–15 см. Наиболее интенсивный рост побегов происходил в летние месяцы после 06.06. В течение июня – июля часть побегов либо погибла, либо прекратила рост с отмиранием верхушечной почки. Рост большинства побегов завершился в период с 01.08 по 21.08. Непосредственное влияние неравномерного распределения атмосферных осадков в течение вегетационного периода – крайне избыточного атмосферного увлажнения в период укоренения черенков и сухой жаркой погоды во второй половине лета – на развитие побегов не выявлено.

Приживаемость базальных черенков составила 100 %. 22 побега из 24 завершили свой рост после 01.08; их длина составила 148–219 см. На черенках, заготовленных из апикальных частей маточных побегов, новые побеги либо вообще не начали развиваться, либо погибли в период с 02.06 по 30.06, либо оказались очень слабыми. Только на 15 саженцах (62,5 % от числа высаженных черенков) шести клонов побеги завершили рост после 01.08; их длина составила 95–171 см. На этом основании

два клона с низкой выживаемостью апикальных черенков были исключены из дальнейшего анализа. В итоге для изучения сезонной динамики суточного прироста побегов ΔL (см/сут) шести клонов было исследовано 22 побега на базальных черенках (вычислено 339 значений ΔL) и 16 побегов на апикальных черенках (вычислено 319 значений ΔL).

В период с 06.06 по 21.08 на базальных черенках ΔL составил 2,6–4,4 см/сут, на апикальных черенках – 1,9–3,4 см/сут. Трансгрессия (перекрывание) ранжированных рядов средних суточных приростов побегов составила $\approx 50\%$. Средний суточный прирост побегов на базальных черенках составил $\Delta L_{cp} = 2,21 \pm 0,054$ см/сут; на апикальных черенках – $\Delta L_{cp} = 1,65 \pm 0,036$ см/сут (различия достоверны при $P < 0,001$). Самый высокий средний суточный прирост выявлен для клона *tr04*: $\Delta L_{cp} = 2,59 \pm 0,148$ см/сут на побегах, полученных из базальных черенков, и $\Delta L_{cp} = 1,86 \pm 0,085$ см/сут на побегах, полученных из апикальных черенков. При этом межклубовая вариабельность средних суточных приростов оказалась низкой: $CV = 12,1\%$ для побегов на базальных черенках и $CV = 8,0\%$ для

побегов на апикальных черенках. Среднеквадратичная амплитуда колебаний суточного прироста A_{RMS} для всех побегов на базальных черенках составила 0,92 см/сут, для всех побегов на апикальных черенках этот показатель оказался заметно ниже – 0,71 см/сут. Визуальный анализ сезонной динамики суточного прироста побегов проводился в период с 21.05 по 17.08. Сезонная динамика ΔL на базальных и апикальных черенках показана на рис. 1 (красным цветом показаны побеги на базальных черенках, синим цветом – побеги на апикальных черенках; средние ряды показаны маркерами ●).

Для всех побегов установлен циклический характер сезонной динамики суточного прироста, обусловленный чередованием максимумов (пиков) и минимумов (провалов) ΔL . Средние временные интервалы между пиками ΔL составили 16–26 сут. В период с 21.05 по 20.07 выявлено три максимума ΔL , разделенных двумя минимумами. Первые минимумы ΔL (02.06) в высшей степени синхронизированы на всех побегах независимо от клубовой принадлежности и происхождения черенков. В период с 21.05 по 08.07 средний суточный при-

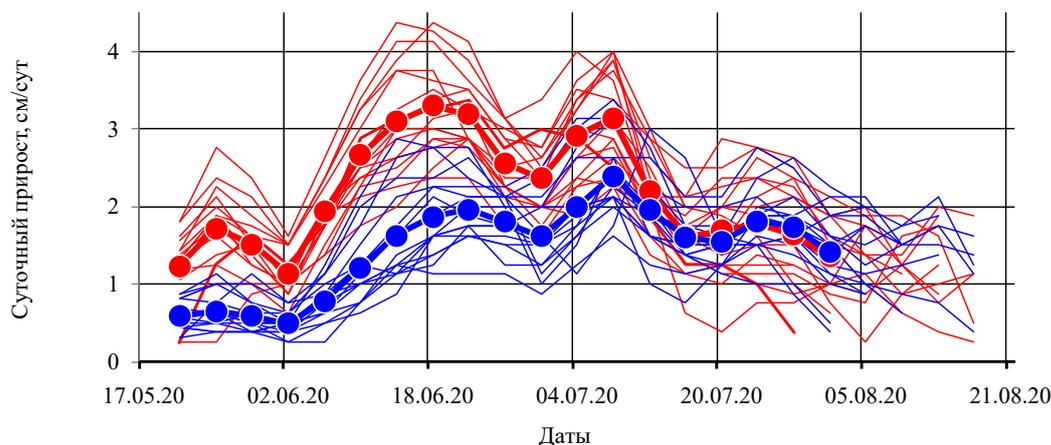


Рис. 1. Динамика суточного прироста побегов на черенках различного происхождения

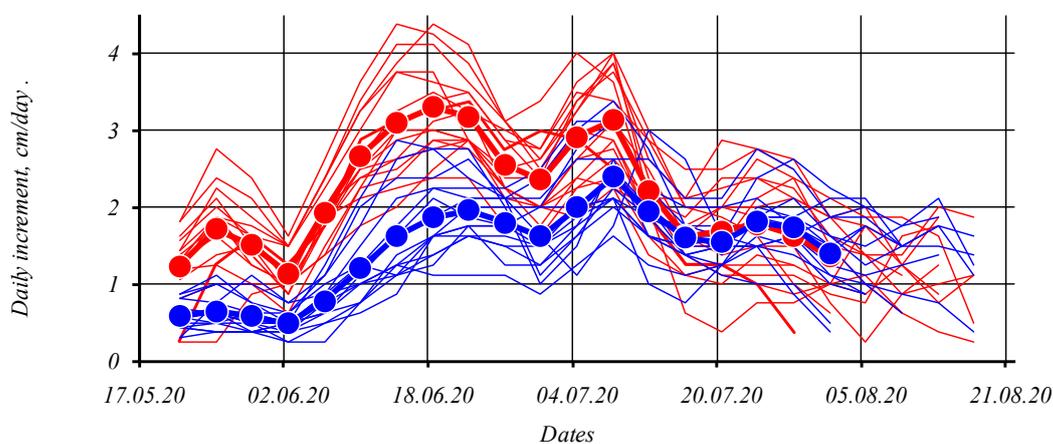


Fig. 1. Dynamics of daily increment of shoots on cuttings of different origin

рост побегов на базальных черенках ($\Delta L = 2,36 \pm 0,056$ см/сут) оказался примерно в 1,7 раза выше, чем на апикальных ($\Delta L = 1,41 \pm 0,044$ см/сут); различия достоверны при $P < 0,01$. После прохождения среднелетнего минимума (с 16.07 по 20.07) на всех побегах выявлен позднелетний максимум (24.07). При этом средний суточный прирост побегов на базальных черенках снижается, и различия между побегами, полученных из базальных и апикальных черенков, нивелируются.

Сезонная динамика ΔL на базальных черенках показана на рис. 2 (красным цветом выделены побеги клона *tr04*, зеленым – клона *tr05*, синим – клона *tr16*).

Два клона – *tr04* и *tr16* – показали высокий средний суточный прирост побегов на базальных черенках: $\Delta L = 2,59 \pm 0,148$ и $\Delta L = 2,51 \pm 0,200$ см/сут соответственно. В начале июня для этих клонов выявлены самые высокие значения суточного прироста: $\Delta L = 4,1 \dots 4,4$ см/сут. Один из клонов – *tr05* – показал худшие результаты: $\Delta L = 1,94 \pm 0,095$ см/сут. При этом на побегах клона *tr04* выявлено четыре первых пика ΔL , на побегах клона *tr16* – три первых пика, на побегах клона *tr05* – пять пиков. Заметные внутриклоновые различия в сезонной динамике суточного прироста на базальных черенках не обнаружены.

Сезонная динамика ΔL на апикальных черенках показана на рис. 3 (красным цветом показаны все побеги клона *tr04*, зеленым – клона *tr05*, синим – клона *tr16*; маркерами \circ и $+$ показаны единичные побеги клонов *tr13* и *tr14*).

Самые высокие значения суточного прироста побегов на апикальных черенках (за исключением единичных саженцев) выявлены в середине лета $\Delta L = 3,1 \dots 3,4$ см/сут. Самое высокое среднее значение суточного прироста обнаружено на побегах клона *tr04*: $\Delta L = 1,86 \pm 0,085$ см/сут. Несколько худшие результаты (различия недостоверны при $P = 0,01$) показал клон *tr05*: $\Delta L = 1,70 \pm 0,071$ см/сут. Независимо от фактора клона выявлены позднелетние (13.08) пики ΔL . При этом на апикальных черенках клонов *tr04*, *tr05* и *tr16* число пиков ΔL совпадает с числом пиков, выявленных на саженцах, полученных из базальных черенков. В целом на апикальных черенках выявлены заметные внутриклоновые различия в сезонной динамике суточного прироста: на отдельных побегах разных клонов обнаружены большие или меньшие пиковые значения ΔL , выявлены незначительные смещения по датам достижения максимальных значений ΔL .

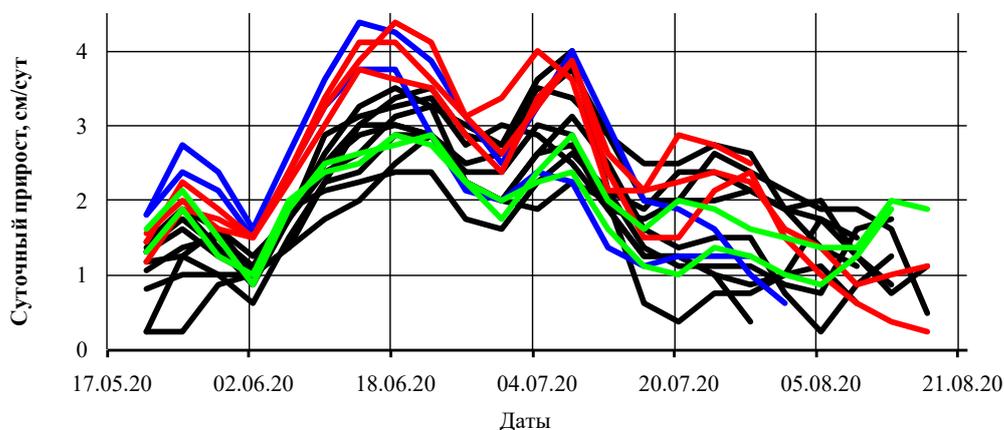


Рис. 2. Динамика суточного прироста побегов на базальных черенках

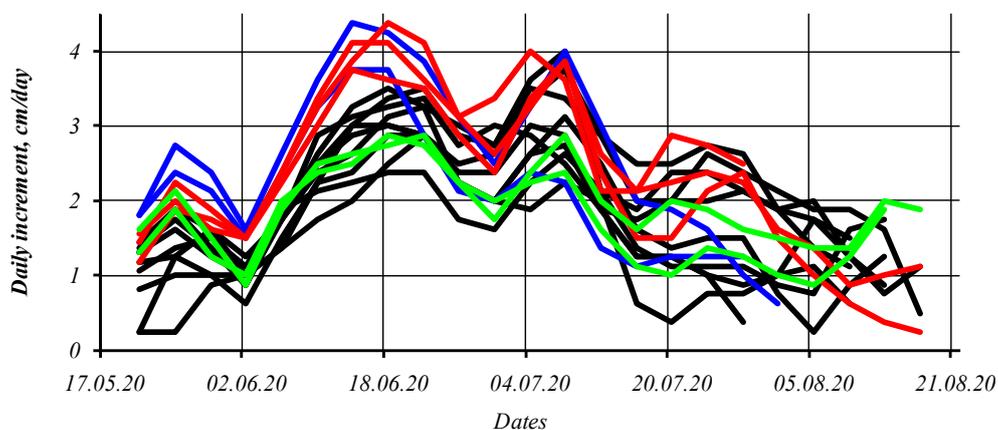


Fig. 2. Dynamics of daily increment of shoots on basal cuttings

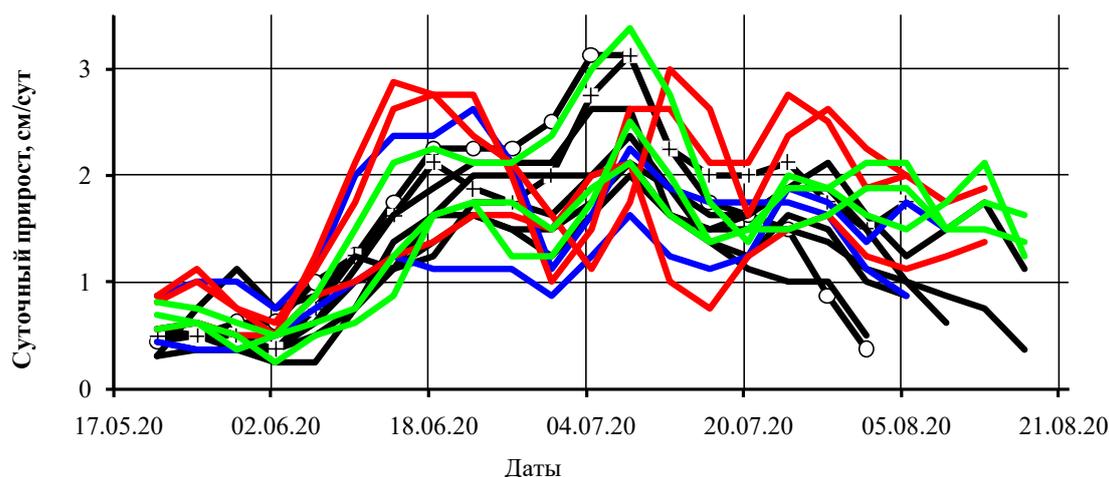


Рис. 3. Динамика суточного прироста побегов на апикальных черенках

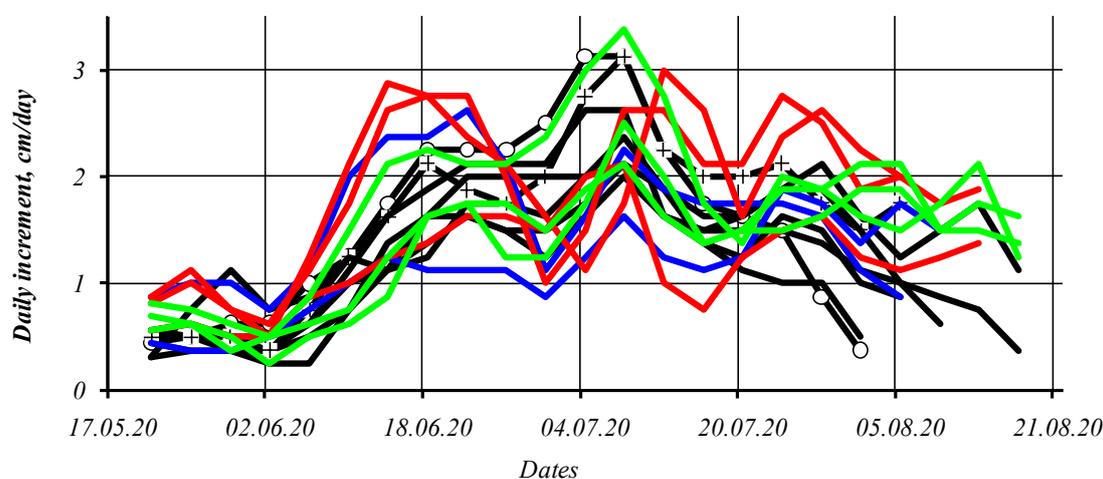


Fig. 3. Dynamics of daily increment of shoots on apical cuttings

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В модельной инбредно-клоновой популяции *S. triandra* выявлены закономерности сезонной динамики линейного нарастания побегов, полученных на однолетних саженцах, выращенных из неукорененных черенков, заготовленных из базальных и апикальных частей маточных побегов. В условиях данного эксперимента выживаемость саженцев, полученных из базальных черенков, составила 100 %; выживаемость саженцев, полученных из апикальных черенков, оказалась почти в 2 раза ниже. Годичный (L , см) и средний суточный (ΔL , см/сут) прирост побегов на базальных черенках оказался в 1,4 раза больше, чем побегов на апикальных черенках. Примерно в 50 % наблюдений суточный прирост побегов на апикальных черенках сопоставим с таковым на базальных черенках. Межклоновые различия по средним значениям ΔL оказались низкими независимо от местоположения черенков на маточных побегах. Для одного из клонов установлены высокие значения суточного прироста побегов независимо от происхождения черенков. В то же время выявлен клон, у которого низкие значения

ΔL на базальных черенках сочетаются с высокими значениями ΔL на апикальных черенках.

Подтверждена цикличность сезонной динамики суточного прироста побегов *S. triandra*, выявленная нами ранее [27, с. 104; 28 с. 1]. На исследованном материале установлено, что полный сезонный цикл включает 5 многодневных (инфраничных) циклов. Выявленные инфраничные циклы в высшей степени синхронизированы в первой половине вегетационного периода независимо от происхождения черенков. Внутриклоновые различия в сезонной динамике суточного прироста, обусловленные, прежде всего, разными пиковыми значениями ΔL , выявлены для побегов на апикальных черенках; для побегов на базальных черенках эти различия незначительны.

Самые высокие значения ΔL всех побегов на базальных черенках наблюдались в период прохождения второго (июньского) максимума ΔL . При этом максимальные значения ΔL связаны с клоновой принадлежностью. Самые высокие значения ΔL большинства побегов на апикальных черенках наблюдались в период прохождения третьего (июль-

ского) максимума ΔL . В этом случае максимальные значения ΔL выявлены на побегах разных клонов. Во второй половине лета различия между пиковыми значениями ΔL на побегах, выращенных из базальных и апикальных черенков, исчезают. На побегах клонов с высокими показателями среднего суточного прироста побегов, полученных как на базальных, так и апикальных черенках, число инфрадианных циклов может уменьшаться до 3–4 независимо от происхождения черенков. Таким образом, можно предположить, что сезонная цикличность ΔL определяется именно фактором клона, а не происхождением черенков.

На основании результатов данного исследования можно сделать выводы, имеющие практическое значение при создании насаждений *S. triandra* путем посадки неукорененных черенков.

1. В условиях избыточного атмосферного увлажнения в период укоренения черенков возможно

получение высоких показателей сезонного и суточного прироста однолетних побегов.

2. Черенки рекомендуется заготавливать прежде всего из базальных частей маточных побегов, что не противоречит общепринятой практике [1, с. 168; 22, с. 380; 24, с. 66; 25, с. 796; 31, с. 116].

3. При недостатке посадочного материала можно использовать черенки из апикальных частей маточных побегов с учетом ряда недостатков этого вида посадочного материала:

- низкая приживаемость апикальных черенков;
- низкие показатели сезонного и суточного прироста однолетних побегов на апикальных черенках;
- высокий уровень внутриклоновой изменчивости прироста побегов на апикальных черенках.

4. Для заготовки апикальных черенков рекомендуется использовать проверенные клоны с высокими показателями приживаемости и продуктивности саженцев, выращиваемых как из базальных, так и апикальных черенков.

Библиографический список

1. Правдин Л. Ф. Ива, ее культура и использование. Москва: Изд-во АН СССР, 1952. 168 с.
2. Skvortsov A. K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.
3. Kuzovkina Y. A. Compilation of the checklist for cultivars of *Salix* L. (Willow) // HortScience. 2015. No. 50 (11). Pp. 1608–1609. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.11.1608.
4. McElroy G. H., Dawson W. M. Biomass from short rotation coppice willow on marginal land // Biomass. 1986. No. 10. Pp. 225–240. DOI: 10.1016/0144-4565(86)90055-7.
5. Matyka M., Radzikowski P. Productivity and Biometric Characteristics of 11 Varieties of Willow Cultivated on Marginal Soil [e-resource] // Agriculture. 2020. No. 10 (12). Article number 616. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/12/616> (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.3390/agriculture10120616.
6. Fege A. S., Inman R. E., Salo D. J. Energy Farms for the Future // Journal of Forestry. 1979. No. 77 (6). Pp. 358–361.
7. Reid W. V., Ali M. K., Field C. B. The future of bioenergy // Global Change Biology. 2020. No. 26 (1). Pp. 274–286. DOI: 10.1111/gcb.14883.
8. Vanbeveren S. P. P., Ceulemans R. Biodiversity in short-rotation coppice // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. No. 111. Pp. 34–43. DOI: 10.1016/j.rser.2019.05.012.
9. Leirpoll M. E., Næss J. S., Cavalett O., Dorber M., Hu X., Cherubini F. Optimal combination of bioenergy and solar photovoltaic for renewable energy production on abandoned cropland // Renewable Energy. 2021. No. 168. Pp. 45–56. DOI: 10.1016/j.renene.2020.11.159.
10. 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 [e-resource] // Food and Energy Security. 2019. No. 8 (3). Article number e00165. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.165> (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.1002/fes3.165.
11. Isabel N., Holliday J. A., Aitken S. N. Forest genomics: Advancing climate adaptation, forest health, productivity, and conservation // Evolutionary Applications. 2020. No. 13 (1). Pp. 3–10. DOI: 10.1111/eva.12902.
12. Nemethy S., Szemethy L. Adverse and Beneficial Effects of Woody Biomass Feedstock Plantations on Biodiversity and Wildlife Habitats // Acta Regionalia et Environmentalica. 2020. No. 16 (2). Pp. 25–33. DOI: 10.2478/aree-2019-0006.
13. Weih M., Nordh N.-E., Manzoni S., Hoerber S. Functional traits of individual varieties as determinants of growth and nitrogen use patterns in mixed stands of willow (*Salix* spp.) [e-resource] // Forest Ecology and Management. 2021. No. 479. Article number 118605. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112720313748> (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118605.
14. Fabio E. S., Smart L. B. Differential growth response to fertilization of ten elite shrub willow (*Salix* spp.) bioenergy cultivars // Trees. 2018. No. 32. Pp. 1061–1072. DOI: 10.1007/s00468-018-1695-y.

15. 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. No. 32. Pp. 349–354. DOI: 10.1007/s11676-019-01089-3.
16. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год [Электронный ресурс]. Москва, 2021. 104 с. URL: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (дата обращения: 23.08.2021).
17. Fabio E. S., Leary C. J., Smart L. B. Tolerance of novel inter-specific shrub willow hybrids to water stress // *Trees*. 2019. No. 33 (4). Pp. 1015–1026. DOI: 10.1007/s00468-019-01835-4.
18. Rodríguez M. E., Doffo G. N., Cerrillo T., Luquez V. M. C. Acclimation of cuttings from different willow genotypes to flooding depth level // *New Forests*. 2018. No. 49. Pp. 415–427. DOI: 10.1007/s11056-018-9627-7.
19. Berlin S., Hallingbäck H.R., Beyer F., Nordh N.-E., Weih M., Rönnberg-Wästljung A.-C. Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years // *Annals of Botany*. 2017. No. 78 (1). Pp. 87–100. DOI: 10.1093/aob/mcx029.
20. Епанчинцева О. В. Особенности искусственного вегетативного размножения аркто-монтанных ив // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2011. № 15-1 (104). С. 182–187.
21. Yoon A., Oh H. E., Kim S. Y., Park Y. G. Plant growth regulators and rooting substrates affect growth and development of *Salix koriyanagi* cuttings [e-resource] // *Rhizosphere*. 2021. No. 20. Article number 100437. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452219821001336> (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.1016/j.rhisph.2021.100437.
22. Weissteiner C., Schenkenbach N., Lammeranner W., Kalny G., Rauch H. P. Cutting diameter on early growth performance of purple willow (*Salix purpurea* L.) // *Journal of Soil and Water Conservation*. 2019. No. 74 (4). Pp. 380–388. DOI: 10.2489/jswc.74.4.380.
23. Епанчинцева О. В., Тишкина Е. А., Монтиле А. А. Особенности роста и развития в первые годы выращивания различных таксонов рода *Salix* L. на урбанизированной территории Екатеринбурга // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова*. 2021. № 3 (64). С. 83–91. DOI: 10.34655/bgsha.2021.64.3.011.
24. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. Effects of cutting traits and competition on performance and size hierarchy development over two cutting cycles in willow // *Biomass and Bioenergy*. 2018. No. 108. Pp. 66–73. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.11.002.
25. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. Effects of cutting length, orientation and planting depth on early willow shoot establishment // *BioEnergy Research*. 2015. No. 8. Pp. 796–806. DOI: 10.1007/s12155-014-9560-3.
26. Verwijst T., Lundkvist A., Edelfeldt S., Forkman J., Nordh N.-E. Effects of clone and cutting traits on shoot emergence and early growth of willow // *Biomass and Bioenergy*. 2012. No. 37. Pp. 257–264. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.12.004.
27. 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. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-1-104-112.
28. Афонин А. А. Эпигенетическая изменчивость структуры сезонной динамики развития побегов ивы трехтычинковой (*Salix triandra*, Salicaceae) [Электронный ресурс] // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал*. 2021. № 2 (38). С. 1–14. URL: http://vestospu.ru/archive/2021/articles/1_38_2021.pdf (дата обращения: 10.06.2022). DOI: 10.32516/2303-9922.2021.38.1.
29. Погода и климат. Климатический монитор. Брянск [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26898> (дата обращения: 02.09.2021).
30. Donnelly I., McDonnell K., Finnan J. Novel Approaches to Optimise Early Growth in Willow Crops // *Agriculture*. 2019. No. 9. Pp. 116. DOI: 10.3390/agriculture9060116.
31. Welc M., Lundkvist A., Verwijst T. Effects of propagule phenology (non-dormant versus dormant) and planting system (vertical versus horizontal) on growth performance of willow clones grown under different weeding regimes // *BioEnergy Research*. 2018. No. 11 (3). Pp. 703–714. DOI: 10.1007/s12155-018-9929-9.

Об авторе:

Алексей Алексеевич Афонин¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID 0000-0002-9392-2527, AuthorID 264352; +7 910 230-69-75, afonin.salix@gmail.com

¹Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, Брянск, Россия

Dynamics of development of *Salix triandra* shoots on saplings from basal and apical cuttings

A. A. Afonin¹✉

¹ Bryansk State Academician I. G. Petrovski University, Bryansk, Russia

✉ E-mail: afonin.salix@gmail.com

Агротехнологии

Abstract. Purpose of research is to identify the patterns of development of shoots on annual saplings of *S. triandra* grown from cuttings taken from different parts of uterine shoots. **Research methodology and methods.** The object of the study is a model inbred-clonal population of *S. triandra*. Experimental group: replicas of eight clones. Variants for each clone: annual saplings grown from basal and apical cuttings. All variants were carried out in three replications. Material: growing annual shoots. The research was doing out in the soil-climatic conditions of the Bryansk district of the zone of broad-leaved forests. Observations were conducted against the background of excessive atmospheric moistening during the rooting of cuttings. Methods: chronobiological, numerical analysis of time series. **Results.** The seasonal growth of shoots on basal cuttings was 148–219 cm, on apical – 95–171 cm. The maximum daily increment of shoots on basal cuttings is 2.59 ± 0.148 cm/day, on apical – 1.86 ± 0.085 cm/day. The highest values of the daily increment of shoots on basal cuttings were revealed in middle of June, on apical cuttings – in middle of July. The duration of multi-day cycles of daily increment was 16–26 days, regardless of the clone factor and the origin of cuttings. The maximum number of multi-day cycles does not exceed 5. On the shoots of clones with the highest daily increment, the number of multi-day cycles decreases to 3–4. **Scientific novelty.** Under the conditions of this experiment, the cyclical development of all the studied shoots of *S. triandra* was established. Multi-day cycles of daily increment are highly synchronized in the first half of the vegetative period, regardless of the clone factor and the origin of cuttings. The range of fluctuations in the daily increment of shoots on basal cuttings is determined primarily by the clone factor. The same range of oscillations on apical cuttings is largely determined by intracolon variability. To create plantings of *S. triandra*, it is recommended to use, first of all, cuttings from the basal parts of shoots. If there is a shortage of planting material, it is permissible to use the tops of shoots, taking into account the factor of mother clones.

Keywords: almond willow, *Salix triandra*, soil-climatic conditions, weather-climatic conditions, stem cuttings, one-year age saplings, annual shoots, daily increment, seasonal dynamics, cyclicity of increment.

For citation: Afonin A. A. Dinamika razvitiya pobegov *Salix triandra* na sazhentsakh, vyrashchennykh iz bazal'nykh i apikal'nykh cherenkov [Dynamics of development of *Salix triandra* shoots on saplings from basal and apical cuttings] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 09 (224). Pp. 2–12. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-2-12. (In Russian.)

Date of paper submission: 13.06.2022, **date of review:** 30.06.2022, **date of acceptance:** 12.07.2022.

References

1. Pravdin L. F. Iva, ee kul'tura i ispol'zovanie [A willow, its cultivation and use]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1952. 168 p. (In Russian.)
2. Skvortsov A. K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.
3. Kuzovkina Y. A. Compilation of the checklist for cultivars of *Salix* L. (Willow) // HortScience. 2015. No. 50 (11). Pp. 1608–1609. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.11.1608.
4. McElroy G. H., Dawson W. M. Biomass from short rotation coppice willow on marginal land // Biomass. 1986. No. 10. Pp. 225–240. DOI: 10.1016/0144-4565(86)90055-7.
5. Matyka M., Radzikowski P. Productivity and Biometric Characteristics of 11 Varieties of Willow Cultivated on Marginal Soil [e-resource] // Agriculture. 2020. No. 10 (12). Article number 616. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/12/616> (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.3390/agriculture10120616.
6. Fege A. S., Inman R. E., Salo D. J. Energy Farms for the Future // Journal of Forestry. 1979. No. 77 (6). Pp. 358–361.
7. Reid W. V., Ali M. K., Field C. B. The future of bioenergy // Global Change Biology. 2020. No. 26 (1). Pp. 274–286. DOI: 10.1111/gcb.14883.
8. Vanbeveren S. P., Ceulemans R. Biodiversity in short-rotation coppice // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. No. 111. Pp. 34–43. DOI: 10.1016/j.rser.2019.05.012.

9. Leirpoll M. E., Næss J. S., Cavalett O., Dorber M., Hu X., Cherubini F. Optimal combination of bioenergy and solar photovoltaic for renewable energy production on abandoned cropland // *Renewable Energy*. 2021. No. 168. Pp. 45–56. DOI: 10.1016/j.renene.2020.11.159.

10. 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 [e-resource] // *Food and Energy Security*. 2019. No. 8 (3). Article number e00165. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.165> (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.1002/fes3.165.

11. Isabel N., Holliday J. A., Aitken S. N. Forest genomics: Advancing climate adaptation, forest health, productivity, and conservation // *Evolutionary Applications*. 2020. No. 13 (1). Pp. 3–10. DOI: 10.1111/eva.12902.

12. Nemethy S., Szemethy L. Adverse and Beneficial Effects of Woody Biomass Feedstock Plantations on Biodiversity and Wildlife Habitats // *Acta Regionalia et Environmentalica*. 2020. No. 16 (2). Pp. 25–33. DOI: 10.2478/aree-2019-0006.

13. 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.) [e-resource] // *Forest Ecology and Management*. 2021. No. 479. Article number 118605. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112720313748> (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118605.

14. Fabio E. S., Smart L. B. Differential growth response to fertilization of ten elite shrub willow (*Salix* spp.) bioenergy cultivars // *Trees*. 2018. No. 32. Pp. 1061–1072. DOI: 10.1007/s00468-018-1695-y.

15. Pietrzykowski M., Woś B., Tylek P., Kwaśniewski D., Juliszewski T., Walczyk J., Likus-Cieślik J., Ochał W., Tabor S. Carbon sink potential and allocation in above- and below-ground biomass in willow coppice // *Journal of Forestry Research*. 2021. No. 32. Pp. 349–354. DOI: 10.1007/s11676-019-01089-3.

16. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год [A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2020] [e-resource]. Moscow, 2021. 104 p. URL: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (date of reference: 23.08.2021). (In Russian.)

17. Fabio E. S., Leary C. J., Smart L. B. Tolerance of novel inter-specific shrub willow hybrids to water stress // *Trees*. 2019. No. 33 (4). Pp. 1015–1026. DOI: 10.1007/s00468-019-01835-4.

18. Rodríguez M. E., Doffo G. N., Cerrillo T., Luquez V. M. C. Acclimation of cuttings from different willow genotypes to flooding depth level // *New Forests*. 2018. No. 49. Pp. 415–427. DOI: 10.1007/s11056-018-9627-7.

19. Berlin S., Hallingbäck H.R., Beyer F., Nordh N.-E., Weih M., Rönnberg-Wästljung A.-C. Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years // *Annals of Botany*. 2017. No. 78 (1). Pp. 87–100. DOI: 10.1093/aob/mcx029.

20. Epanchintseva O. V. Osobennosti iskusstvennogo vegetativnogo razmnozheniya arкто-montannykh iv [The peculiarities of artificial vegetative propagation of arcto-montane willows] // *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2011. No. 15-1 (104). Pp. 182–187. (In Russian.)

21. Yoon A., Oh H. E., Kim S. Y., Park Y. G. Plant growth regulators and rooting substrates affect growth and development of *Salix koriyanagi* cuttings [e-resource] // *Rhizosphere*. 2021. No. 20. Article number 100437. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452219821001336> (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.1016/j.rhisph.2021.100437.

22. Weissteiner C., Schenkenbach N., Lammeranner W., Kalny G., Rauch H. P. Cutting diameter on early growth performance of purple willow (*Salix purpurea* L.) // *Journal of Soil and Water Conservation*. 2019. No. 74 (4). Pp. 380–388. DOI: 10.2489/jswc.74.4.380.

23. Epanchintseva O. V., Tishkina E. A., Montile A. A. Osobennosti rosta i razvitiya v pervye gody vyrashchivaniya razlichnykh taksonov roda *Salix* L. na urbanizirovannoy territorii Ekaterinburga [Features of growth and development in the first years of growing various taxa of genus *Salix* L. In the urbanized territory of Ekaterinburg] // *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova*. 2021. No. 3 (64). Pp. 83–91. DOI: 10.34655/bgsha.2021.64.3.011. (In Russian.)

24. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. Effects of cutting traits and competition on performance and size hierarchy development over two cutting cycles in willow // *Biomass and Bioenergy*. 2018. No. 108. Pp. 66–73. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.11.002.

25. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. Effects of cutting length, orientation and planting depth on early willow shoot establishment // *BioEnergy Research*. 2015. No. 8. Pp. 796–806. DOI: 10.1007/s12155-014-9560-3.

26. Verwijst T., Lundkvist A., Edelfeldt S., Forkman J., Nordh N.-E. Effects of clone and cutting traits on shoot emergence and early growth of willow // *Biomass and Bioenergy*. 2012. No. 37. Pp. 257–264. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.12.004.

27. Afonin A. A. Sezonnaya dinamika dliny mezhdouzliy *Salix triandra* L. (Salicaceae) na fone kratkovremennoj atmosfernoj zasuhi [Seasonal dynamics of internode length of *Salix triandra* L. (Salicaceae) against the background of short-term atmospheric drought] // Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science. 2021. No. 1. Pp. 104–112. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-1-104-112. (In Russian.)
28. Afonin A. A. Epigeneticheskaya izmenchivost' struktury sezonnoj dinamiki razvitiya pobegov ivy trekhtychinkovoy (*Salix triandra*, Salicaceae) [Epigenetic variability of the structure of seasonal dynamics of shoot development of almond willow (*Salix triandra*, Salicaceae)] [e-resource] // Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal. 2021. No. 2 (38). Pp. 1–14. URL: http://vestospu.ru/archive/2021/articles/1_38_2021.pdf (date of reference: 10.06.2022). DOI: 10.32516/2303-9922.2021.38.1. (In Russian.)
29. Pogoda i klimat. Klimaticheskij monitor. Bryansk [Weather and climate. Climate monitor. Bryansk] [e-resource]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26898> (date of reference: 02.09.2021). (In Russian.)
30. Donnelly I., McDonnell K., Finnan J. Novel Approaches to Optimise Early Growth in Willow Crops // Agriculture. 2019. No. 9. Pp. 116. DOI: 10.3390/agriculture9060116.
31. Welc M., Lundkvist A., Verwijst T. Effects of propagule phenology (non-dormant versus dormant) and planting system (vertical versus horizontal) on growth performance of willow clones grown under different weeding regimes // BioEnergy Research. 2018. No. 11 (3). Pp. 703–714. DOI: 10.1007/s12155-018-9929-9.

Author's information:

Aleksey A. Afonin¹, doctor of agricultural sciences, professor, ORCID 0000-0002-9392-2527, AuthorID 264352; +7 910 230-69-75, afonin.salix@gmail.com

¹Bryansk State Academician I. G. Petrovski University, Bryansk, Russia