

ВЫРАЩИВАНИЕ САЖЕНЦЕВ ДЕРЕВЬЕВ РОДА *POPULUS* В ГОРНО-ЛЕСНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

А.Р. Шамсутдинова[✉], Р.Р. Султанова, Р.Ф. Мустафин

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Россия, 450001, г. Уфа,
ул. 50-летия Октября, д. 34

shamsutdinova.alya2015@yandex.ru

Рассмотрены ключевые аспекты формирования быстрорастущих лесных насаждений, как эффективного и экономически выгодного метода для смягчения последствий изменения климата и декарбонизации территории Республики Башкортостан. Установлено, что деревья рода *Populus* являются одними из наиболее активно поглощающих диоксид углерода среди древесных пород. Приведены показатели роста и приживаемости черенков деревьев тополя пирамидального *Populus Nigra* Var. × *Italica* Du Roi. Представлена характеристика зависимости биометрических показателей укорененных черенков от соблюдения поливной нормы в горно-лесной лесорастительной зоне Республики Башкортостан. Подробно описан процесс подготовки и посадки черенков. Определены средние значения длины корней второго порядка и выявлена их вариабельность в течение вегетационного периода как при выполнении поливной нормы, так и без полива. Полученные результаты подтверждают высокие показатели роста укорененных черенков при соблюдении поливной нормы по сравнению с естественными условиями. Результаты исследования корневой системы тополя пирамидального *Populus Nigra* Var. × *Italica* Du Roi прибором Имаджер CI-600 без извлечения саженцев из почвы так же подтверждают формирование хорошо развитых корней в условиях эксперимента. Результаты исследований о влиянии соблюдения поливной нормы можно использовать при лесоразведении и управлении лесными ресурсами в регионе. **Ключевые слова:** черенки, саженцы, лесничество, тополь, посадка, корни, норма полива

Ссылка для цитирования: Шамсутдинова А.Р., Султанова Р.Р., Мустафин Р.Ф. Выращивание саженцев деревьев рода *Populus* в горно-лесной зоне Южного Урала // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 2. С. 30–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-2-30-41

Выбросы парниковых газов с преобладанием диоксида углерода CO_2 являются серьезной проблемой в функционировании природных экосистем, приводя к таким негативным последствиям, как глобальное изменение климата, усиление парникового эффекта и т. д. [1–4]. Актуальным вопросом использования природных ресурсов в области лесного хозяйства служит управление потоками углерода в целях сокращения выбросов CO_2 , увеличения их секвестрации и перераспределения во времени и пространстве [5]. Леса, активно поглощающие CO_2 из атмосферы и удерживающие его в наземной биомассе, имеют важное значение для смягчения негативных последствий выбросов диоксида углерода. Связывание углерода деревьями рассматривают как одну из основных функций лесных экосистем [6–8]. Рациональное ведение лесного хозяйства, охрана лесов, лесоразведение, лесовосстановление и создание плантаций на основе быстрорастущих древесных пород составляют ключевое направление в декарбонизации территорий и поддержания уровня CO_2 в установленной норме.

В условиях растущего спроса на древесину актуальность приобретает селекция быстрорастущих стрессоустойчивых генотипов тополя пирамидального в качестве средства повышения продуктивности и устойчивости лесов. Адаптация к абиотическим стрессам имеет решающее значение для выживания древесных растений. Тополь является буферной древесной культурой, которая увеличивает поглощение атмосферных загрязнителей, способствует разложению органических соединений, снижает риск эрозии и вымывания почв. Это наиболее быстрорастущее древесное растение, широко распространенное в Российской Федерации. Тополь выращивается на лесопромышленных плантациях для городского озеленения, защитных насаждений в сельских населенных пунктах, а также для посадки вдоль дорожного полотна и по берегам рек, периметру оврагов.

Работа по научному обоснованию создания быстрорастущих плантаций, способствующих снижению количества CO_2 в атмосфере, ведется в Республике Башкортостан с 2021 г. в рамках деятельности Евразийского климатического консорциума (<https://eurasianclimate.ru/o-consorciume>).

Тополь обладает абсолютным приоритетом в создании таких специализированных плантаций среди древесных пород. Благодаря своей уникальной генетике и биологическим особенностям тополь выступает оптимальным выбором для создания лесных продуктивных плантаций, способствующих улучшению экологической обстановки. Они отличаются высокой способностью поглощать углерод: спелые и перестойные насаждения тополя накапливают до 2,22 (в некоторых районах до 3,6) т CO₂ в год в пересчете на 1 га. Быстрый рост деревьев рода *Populus*, их большая биомасса позволяют создавать древесные плантации с короткой ротацией, особенно на неиспользуемых сельскохозяйственных ландшафтах с богатыми почвами, интенсивно депонирующих атмосферный углерод наземной и подземной биомассой [9, 10].

Китайские ученые предполагают, что в будущих климатических сценариях центр видового разнообразия *Populus* имеет тенденцию к расширению на северо-восток и северо-запад [11]. Высокая экологическая адаптивность и сильная холодостойкость *Populus* важны для географического распространения и выживания этих деревьев в экстремальных сезонных климатических условиях [12]. В Китае клонированные тополя используются для крупномасштабного дешевого производства древесины на плантациях с коротким оборотом. Этому способствуют высокие темпы роста гибридов тополя. Особое внимание уделяется плантационному выращиванию гибридов тополя, а также изучению корневых систем. Поскольку стеблевые черенки тополя могут образовывать придаточные корни, что очень важно для укоренения и приживаемости этих деревьев, их способность к клоновому размножению широко используется в лесоводственной практике. Укоренение придаточных корней у различных видов *Populus* является основной особенностью их использования в селекционных программах на протяжении многих лет.

Исследования тополя ведутся в различных направлениях. Хорошие результаты получены при фитоэкстракции кадмия на умеренно загрязненных почвах. Однако на сильно загрязненных почвах его рассматривают только как фитостабилизатор. Некоторые исследования посвящены глобальному воздействию гибридных тополей на окружающую среду, поскольку этот вид признан экономически и экологически привлекательным для производства биомассы с короткой ротацией. Изучается реакция растений на солевые реагенты, что показывает фенотипическую адаптацию деревьев рода *Populus* к солевому стрессу. Проводятся также иссле-

Т а б л и ц а 1

Баланс углерода в лесах Республики Башкортостан, тыс. т/год
Carbon balance in forests of the Republic of Bashkortostan, thousands tons/year

Индикатор	Баланс углерода, С тыс. т/га	
	2008	2018
Поглощение		
Надземная биомасса древостоя	3032,2	2763
Мертвая древесина	506,8	468
Лесная подстилка	82,5	87,9
Почва	281,3	300,2
Общее поглощение	3902,7	3618,9
Потери		
Разрушительные лесные пожары	20,9	18,9
Энтомо- и фитофаги	5,1	15,6
Черенки	511,5	720,7
Общие потери	537,5	755,2
Углеродный бюджет		
Надземная биомасса древостоя	263,9	2,475,2
Мертвая древесина	427,3	354
Лесная подстилка	68,8	68,3
Почва	230,1	227
Общий бюджет на выбросы углерода	3365,2	3124,4

дования морфологических и физиологических параметров саженцев гибридов осины *in vitro*, которые свидетельствуют о зависимости продуктивности саженцев от интенсивности световых обработок.

Лесоразведение — эффективный хозяйственный способ, замедляющий негативные последствия, вызванные изменениями климата. Потенциал поглощения углерода пахотными землями в Европе может достичь 7,29 т/га год, если создать в их пределах лесные насаждения. Максимальное использование углеродного потенциала лесного хозяйства и участие производителей в углеродных лесных программах может их вознаградить так называемыми углеродными кредитами, которые выдаются организациям, стремящимся компенсировать выбросы CO₂.

Древесные растения аккумулируют до 60 % углерода суши, а его содержание в различных частях дерева достигает 45...50 %.

Леса Республики Башкортостан в среднем поглощают от 3618,9 до 3902,7 тыс. т/год. При сокращении площади лесов в результате рубок или пожаров, гибели от энтомо- и фитофагов по-

Т а б л и ц а 2

Поглощение диоксида углерода лесными насаждениями по группам возраста и породам деревьев, тыс. т/год на 1 га (Республика Башкортостан)**CO₂ uptake by forest plantations by age groups and tree species, tons per 1 ha per year (Republic of Bashkortostan)**

Группа	Порода	Возрастная группа				Всего
		I	II	III	IV, V	
Хвойные	Сосна	1700	970	170	950	800
	Ель	1220	660	140	1190	800
	Пихта	1020	490	50	600	540
	Лиственница	1540	560	200	520	700
Всего по хвойным		1290	560	140	810	710
Твердолиственные	Дуб посевной	1340	170	200	760	660
	Веgetативный дуб	1800	1130	550	2220	630
	Вяз, клен, ясень	1010	270	80	740	640
Всего по твердолиственным		1390	520	280	1250	640
Мягколиственные	Береза	1380	1030	140	1490	1010
	Осина, тополь	1380	1120	810	2221	1380
	Ольха, липа, ива	1540	1020	440	1940	1230
Всего по мягколиственным		1430	1060	460	1880	1210

тери CO₂ составляют от 537,5 до 755,2 тыс. т/год. Поглощение углерода лесами превышает его потери, о чем свидетельствует бюджет углерода от 3124,4 до 3365,2 тыс. т/год. Однако с 2008 г. поглощение углерода снизилось вследствие увеличения площади заросших лесов, участвовавших лесных пожаров, болезней и окончательных рубок (табл. 1).

Формирование быстрорастущих лесных насаждений может существенно сократить негативное воздействие техногенного загрязнения атмосферы на окружающую среду, не только способствуя улучшению качества воздуха, но и обеспечивая значительную экономическую выгоду. Посадка деревьев и создание лесных массивов будет способствовать секвестрации диоксида углерода, который является одной из основных причин изменения климата. Кроме того, лесные насаждения сохраняют биоразнообразие, помогут предотвратить почвенную эрозию и создадут благоприятные условия для жизни животной фауны. В целом, увеличение площади лесов определяется как стратегически важный шаг в области охраны окружающей среды и устойчивого функционирования территорий в системе их низкоуглеродного развития [13–17].

Особого внимания заслуживает изучение углеродопоглощающей способности различных древесных видов. Мягколиственные породы, характерные для местного лесного фонда,

поглощают до 4930,2 тыс. т/год. Лидируют спелые деревья рода *Populus*, поглощающие диоксид углерода до 3,6 тыс. т/год на 1 га. Для остальных пород этот показатель значительно ниже (табл. 2). По мнению некоторых исследователей, поглощение диоксида углерода у тополя в 3 раза интенсивнее, чем у липы, дуба или сосны [18–25].

Формирование саженцев из черенков тополя и их адаптация к условиям среды зависят от системы укоренения. Нами проведено укоренение черенков деревьев тополя пирамидального *Populus Nigra Var. × Italica Du Roi*, вида, выведенного в Республике Башкортостан. Это зимостойкое, быстрорастущее, узкоколоновидное, листопадное дерево с треугольными блестящими листьями длиной до 10 см, желтеющими осенью, достигающее высоты более 30 м. Соблюдение технологии посадки черенков и последующий уход имеют ключевое значение в деле сохранения генетической преемственности и содействия быстрой приживаемости растений, способствуют поддержанию стабильных характеристик тополя, повышению устойчивости к болезням и максимальному использованию экологических преимуществ этого вида деревьев. Кропотливая работа по выращиванию тополя с соблюдением всех необходимых процессов, учетом имеющихся лесорастительных условий позволяет создать благоприятную среду для его развития,

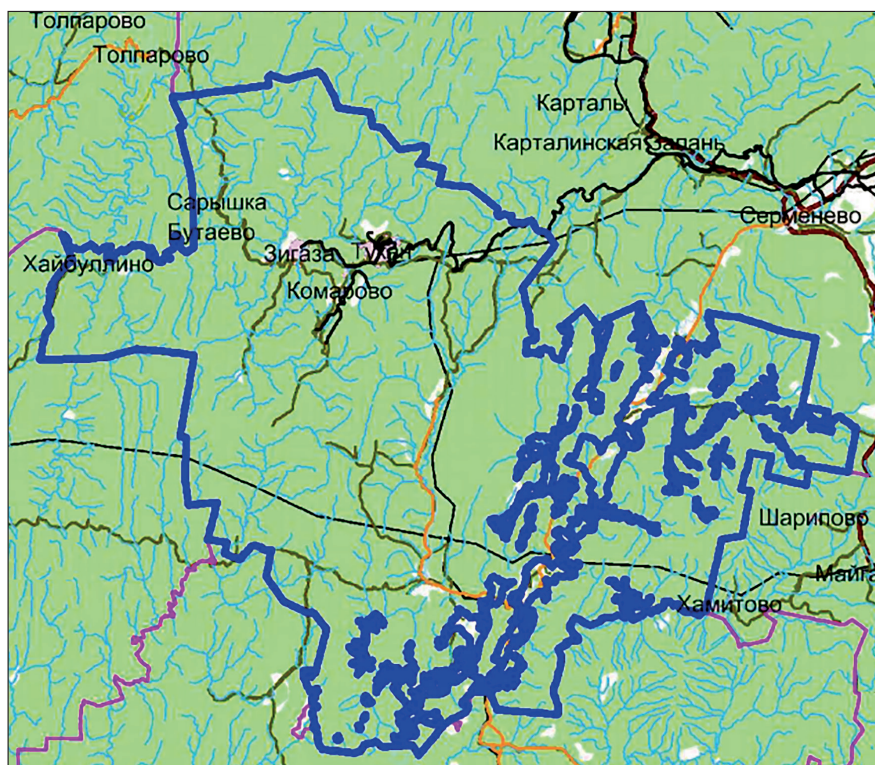


Рис. 1. Карта-схема Авзянского лесничества

Fig. 1. Map-scheme of Avzyansk forestry

обеспечивая долговечность и адаптацию к окружающей среде. В результате оптимальной технологии укоренения черенков *Populus Nigra* Var. $\times$ *Italica Du Roi* и последующего ухода за ними, формируется посадочный материал для создания искусственных насаждений с целевой функцией и желаемыми характеристиками, обеспечивающими как экологические, так и экономические преимущества. Тополь, будучи породой с высокой интенсивностью жизнедеятельности и устойчивостью к изменению климата не выносит участки с застойным избыточным увлажнением, в частности болотные почвы со стоячей водой, плохой аэрацией. Напротив, влажные и сырые почвы с проточной водой, оптимальные по увлажнению, благоприятны для влаголюбивых и требовательных к аэрации деревьев этого вида. Использование данного быстрорастущего вида с большой наземной биомассой ведет улучшению микроклиматических условий территории.

Цель работы

Цель работы — оценка приживаемости черенков *Populus Nigra* Var. $\times$ *Italica Du Roi* в условиях юго-восточной части Республики Башкортостан.

Объекты и методы исследования

Участок, где проведены исследования по укоренению черенков тополя *Populus Nigra* Var. $\times$ *Italica Du Roi*, находится на территории Республики Башкортостан в Белорецком районе — Авзянское лесничество, Узьянское участковое лесничество, квартал № 162, географические координаты [N 53°67'25.43, E 57°85'01.99], [N 53°67'19.97, E 57°85'15.08], [N 53°67'12.98, E 57°85'05.42], [N 53°67'18.95, E 57°84'49.190] (рис. 1).

Природные условия указанного участка подробно представлены в лесоустроительных материалах и научных трудах [26, 27]. Рельеф местности — ровный, с небольшим уклоном в 2° к руслу р. Белая. Гидрологические объекты территории характеризуются снежным питанием, суммарный годовой сток в среднем составляет 4,3 км², т. е. 17 % всех водных ресурсов региона. Климат — умеренно-холодный и полусухой с годовой суммой активных температур 2000 °С и годовой суммой осадков 400...500 мм. Почвы горно-лесные светло-серые.

Побеги на черенки были заготовлены после листопада поздней осенью из наиболее развитых побегов, поскольку у них лучшая проводящая система по сравнению с иными видами [28–33]. Для хранения срезанных побегов на дно траншеи насыпали слой песка, пучки



Рис. 2. Заготовленные черенки тополя
Fig. 2. Prepared poplar cuttings



Рис. 3. Посадка черенков
Fig. 3. Cuttings planting



Рис. 4. Процесс полива
Fig. 4. The watering process

побегов располагали вертикально. Затем траншею засыпали слоем почвы и сформировали дренажные канавки. Перед укладкой черенки соединяли в пучки по 50...100 шт. [33–36]. На каждом пучке была маркирована информация о количестве, ботаническом виде и разновидности черенков (рис. 2).

Черенки нарезали на станке с механическим приводом. В соответствии с ГОСТ 17267–71 длина черенков составляла 20...25 см и диаметр в верхней части — 0,6...2,0 см. Верхний срез делали горизонтальным над почкой, из которой в дальнейшем развивался побег, а нижний срез — под почкой под углом 45°.

Перед посадкой нижние участки черенков освежали, далее их замачивали в воде с гетероауксином на 4...6 ч перед посадкой. В качестве метода предпосадки черенков применяли кильчевание, которое предусматривало размещение пучков черенков в теплице на 2–3 недели базальной частью вверх с покрытием тонким слоем песка до 5–7 см. Песок нагревается солнцем, что приводит к образованию каллюса на нижних участках и началу развития корней.

В отделении черенковых саженцев (так же, как и в других отделениях лесного питомника) применяются севообороты — чистый, сидеральный занятый пар. Основную вспашку почвы проводили на 30...40 см плугом без отвалов на глубину посадки черенков. В процессе посадки черенки размещали в трехрядной ленте. Ленты располагали на расстоянии 70 см одна от другой, ряды внутри лент — на расстоянии 40 см один от другого. Шаг посадки составил 10...20 см (0,4×0,4×0,7 м). При посадке у черенков над поверхностью почвы оставляли одну почку (рис. 3).

Уход за высаженными черенками в открытом грунте предусматривал рыхление почвы, удаление сорняков и полив. За вегетационный период в междурядьях трижды проводили рыхление почвы культиваторами КРСШ-2,8А и КРН-2,8А. Для борьбы с сорняками в посадках тополя вносили раствор гербицида, содержащего прометрин, из расчета 3 кг/га, смешанный с 600...800 дм³ воды. Нанесение осуществлялось с помощью опрыскивателя ПОУ типа ГАН-8.

Норму полива определяли исходя из уровня влажности почвы на глубине 30...40 см (рис. 4). Полив осуществляли каждые 20 сут. с промачиванием почвы на глубину 20...30 см теплой водой вечером [37–40]. Поливная норма составила 500...600 м³ на 1 га. После полива почву обязательно рыхлили.

Для определения показателей сформировавшейся корневой системы в сентябре провели выборочную выкопку укорененных черенков



Рис. 5. Отбор образцов саженцев
Fig. 5. Seedling sampling process

(саженцев). Выполняли отмывку корней и замер биометрических показателей (рис. 5).

Для исследований использовали прибор Имаджер CI-600 миниризонотрон, неразрушающий сканер, позволяющий проводить измерения параметров корневой системы растений непосредственно в месте посадки без извлечения с грунта. Сканер состоит из сканирующего модуля и прозрачной почвенной (корневой) трубки стандартной длины 105 мм. Во время работы сканирующий модуль вставляли в трубку, которую предварительно погружали в грунт.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования были определены количество листьев, высота укоренных черенков *Populus Nigra* Var. × *Italica Du Roi*, длина главных и боковых корней и масса саженцев при соблюдении технологии ухода (табл. 3). С мая по сентябрь высота укорененных черенков достигла в среднем 532,5 мм. Средняя длина главного корня — 185 мм, среднее количество боковых корней — 11 шт., средняя длина бокового корня — 30,79 мм.

Определены средние показатели укорененных черенков без ухода (табл. 4). С мая по сентябрь они достигали высоты 454 мм. Средняя длина главного корня — 143 мм, среднее количество боковых корней — 9 шт., средняя длина бокового корня — 24,81 мм.

По среднему значению коэффициента вариации (%) критическое значение t -критерия Стьюдента при данном числе степеней свободы составляет 12,7, т. е. $t_{\text{табл}} > t_{\text{крит}}$ или изменения признака статистически значимы ($p = 0,016$).

Т а б л и ц а 3

Характеристика саженцев при условии ухода и расчета поливных норм**Characterization of seedlings under condition of care and calculation of irrigation rates**

Длина главного корня, мм	Количество листьев, шт.	Длина корней 2-го порядка, мм	Коэффициент вариации V , %	Среднее квадратическое отклонение σ , мм	Высота саженца, мм	Масса саженца, г
155	9	43,00 ± 9,08	70,06	30,12	465	25
157	19	27,26 ± 5,19	80,69	22	410	24
160	14	53,00 ± 10,42	52,02	25,79	480	28
170	2	27,40 ± 7,39	53,29	14,77	475	27
172	17	22,90 ± 4,94	64,65	14,81	470	29
185	15	17,33 ± 3,86	49,85	8,64	620	30
200	12	23,50 ± 4,71	66,41	15,61	580	30
210	19	34,83 ± 4,91	46,77	16,29	600	33
215	12	27,40 ± 5,64	61,73	16,04	630	32
230	15	31,29 ± 8,30	95,62	29,92	595	35
Среднее значение						
185	13	30,79 ± 6,44	64,17	19,40	532,5	29,3

Т а б л и ц а 4

**Характеристика саженцев при условии приживаемости без ухода
при естественных климатических условиях****Characteristics of seedlings under the condition of rooting without care under natural climatic conditions**

Длина главного корня, мм	Количество листьев, шт.	Длина корней 2-го порядка, мм	Коэффициент вариации V , %	Среднее квадратическое отклонение σ , мм	Высота саженца, мм	Масса саженца, г
100	17	15,11 ± 4,99	93,38	14,11	395	25
115	6	18,50 ± 2,76	44,74	8,28	375	23
120	12	18,17 ± 5,40	66,46	12,07	380	18
121	6	14,22 ± 3,10	61,68	8,77	400	22
135	9	23,20 ± 4,87	62,98	14,61	420	20
155	20	24,62 ± 4,47	62,86	15,47	465	28
160	19	28,89 ± 10,29	100,73	29,1	510	34
170	7	55,14 ± 11,86	52,68	29,05	490	26
175	10	28,13 ± 6,29	59,2	16,65	530	32
180	12	22,20 ± 5,15	69,62	15,45	575	31
Среднее значение						
143	12	24,81 ± 5,92	67,43	16,36	454	25,9

По среднему количеству листьев критическое значение t -критерия Стьюдента при данном числе степеней свободы составляет 12,7, т. е. $t_{\text{табл}} > t_{\text{крит}}$ или изменения признака статистически значимы ($p = 0,025$). По средней ошибке средней арифметической длины корней второй очереди критическое значение t -критерия Стьюдента при данном числе степеней свободы составляет 12,7, т. е. $t_{\text{табл}} > t_{\text{крит}}$ или изменения признака статистически значимы ($p = 0,027$).

По средней массе саженцев критическое значение t -критерия Стьюдента при данном числе степеней свободы составляет 12,7, т. е. $t_{\text{табл}} > t_{\text{крит}}$ или изменения признака статистически значимы ($p = 0,039$). Оценка развития корневой системы с использованием прибора Имаджер CI-600 миниризонотрон показала более точную картину развития корневой системы саженцев (рис. 6).

С помощью прибора были получены цифровые изображения корней, корневых волосков и

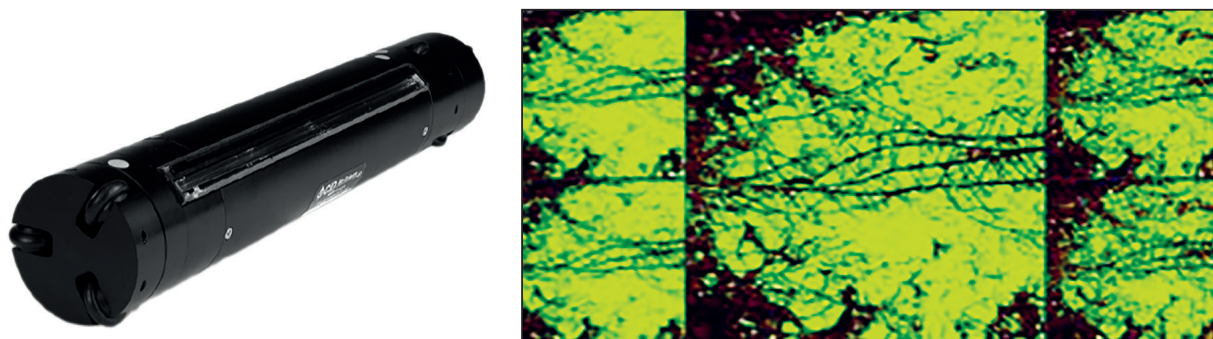


Рис. 6. Сканер Имаджер CI-600

Fig. 6. Imager CI-600 scanner

микоризы непосредственно в грунте, размеры которых отличаются статистически не значительно от показателей, полученных при непосредственном измерении корней извлеченных из грунта растений. Полученные изображения имеют высокий уровень разрешения и выполнены в цвете. Прибор позволяет вести наблюдения за процессом роста корней и их развитием в течение всего периода научного исследования без извлечения черенков.

При изучении формирования саженцев *Populus Nigra* Var. $\times$ *Italica Du Roi* в условиях Белорецкого лесничества определены следующие значения показателя приживаемости k : при поливной норме 500...600 м³ на 1 га $k = 89$ %; контрольный участок без полива — $k = 41$ %. Приживаемость более 82 % соответствуют нормативному значению, установленному для Республики Башкортостан. Полученные данные позволяют судить об успешной приживаемости саженцев при условии выполнения технологии ухода весь период вегетации.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования по укоренению черенков *Populus Nigra* Var. $\times$ *Italica Du Roi* в условиях Белорецкого лесничества позволили получить в конце вегетационного сезона лучшие показатели роста корневой системы укоренившихся черенков тополя в варианте выращивания, при условии, установления поливной нормы, что свидетельствует о возможности ускоренного целевого выращивания саженцев деревьев *Populus Nigra* Var. $\times$ *Italica Du Roi* в Республике Башкортостан для лесовосстановления и декарбонизации территорий. Использование саженцев из укоренившихся черенков в лесоразведении и искусственном лесовосстановлении обеспечивает быстрое размножение элитных клонов тополя

и создание насаждений с высокой углеродопонирующей способностью.

Дальнейшие исследования сосредоточены на оптимизации роста и развития саженцев тополя с целью реализации их потенциальной экологической продуктивности.

Список литературы

- [1] Raihan A., Said M.N.M. Cost-benefit analysis of climate change mitigation measures in the forestry sector of Peninsular Malaysia // *Earth Systems and Environment*, 2022, no. 6(2), pp. 405–419. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00241-6>
- [2] Raihan A., Begum R.A., Mohd Said M.N., Abdullah S.M.S. A review of emission reduction potential and cost savings through forest carbon sequestration // *Asian J. of Water Environment and Pollution*, 2019, no. 16(3), pp. 1–7. <https://doi.org/10.3233/AJW190027>
- [3] Raihan A., Begum R.A., Mohd Said M.N., Pereira J.J. Assessment of carbon stock in forest biomass and emission reduction potential in Malaysia // *Forests*, 2021, no. 12(10), p. 1294. <https://doi.org/10.3390/f12101294>
- [4] Raihan A., Begum R.A., Said M.N.M., Abdullah S.M.S. Climate change mitigation options in the forestry sector of Malaysia // *Jurnal Kejuruteraan*, 2018, no. 1(6), pp. 89–98.
- [5] Mack M.C., Walker X.J., Johnstone J.F., Alexander H.D., Melvin A.M., Jean M., Miller S.N. Carbon loss from boreal forest wildfires offset by increased dominance of deciduous trees // *Science*, 2021, no. 372(6539), pp. 280–283. <https://doi.org/10.1126/science.abf3903>
- [6] Dumitrașcu M., Kucsicsa G., Dumitrică C., Urșanu Popovici E. A., Vrinceanu A., Mitrică B., Mocanu I., Șerban P.R. Estimation of future changes in aboveground forest carbon stock in Romania. A prediction based on forest-cover pattern Scenario // *Forests*, 2020, no. 11(9), p. 914. <https://doi.org/10.3390/f11090914>
- [7] Zhu W., Sang Y.L., Zhu Q., Duan B., Wang Y. Morphology and longevity of different-order fine roots in poplar (*Populus* $\times$ *euramericana*) plantations with contrasting forest productivities // *Canadian J. of Forest Research*, 2018, no. 48(6), pp. 611–620. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0296>

- [8] Zhu Y., Feng Z., Lu J., Liu J. Estimation of forest biomass in Beijing (China) using multisource remote sensing and forest inventory data // *Forests*, 2020, no. 11(2), pp. 163. <https://doi.org/10.3390/f11020163/>
- [9] Потапенко А.М., Лазарева М.С., Сторожишина К.М. Восстановление широколиственных лесов, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений лесокультурным методом // *Труды БГТУ. Сер. 1*, 2020. № 1. С. 69–74.
- [10] Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Springer Dordrecht: Heidelberg-New-York-London, 2013, 754 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7088-1_10
- [11] Wang F., Xiong Z., Dai X., Li Y., Wang, L. The response of the species diversity pattern of *Populus* to climate change in China // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2028, p. 116. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102858>
- [12] Zhou B., Kang Y., Leng J., Xu Q. Genome-wide analysis of the miRNA-mRNAs network involved in cold tolerance in 2019. <https://doi.org/10.3390/genes10060430>
- [13] Луганский Н.А., Залесов С.В., Щавровский В.А. Повышение продуктивности лесов. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 1995. 297 с.
- [14] Моисеев Н.А. Экономика лесного хозяйства. М.: МГУЛ, 2006. 384 с.
- [15] Назаренко И.Н. Экономическая организация воспроизводства лесных ресурсов // *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 2019. № 4–1. С. 113–117.
- [16] Петров А.П., Ильин В.А., Николаева Г.Н. Экономика лесного хозяйства. М.: Экология, 1993. С. 20.
- [17] Пирс П.Х. Введение в лесную экономику. М.: Экология, 1992. 224 с.
- [18] Царев А.П., Плугатарь В., Царева Р.П. Селекция и сортоиспытание тополей. Симферополь: АРИАЛ, 2019. С. 252.
- [19] Петрова Г.А., Калашникова Е.А., Мухаметшина А.Р. Анализ роста осины (*Populus tremula* L.), полученной методом *in vitro* в условиях Республики Татарстан // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2022. Т. 26. № 5. С. 15–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-15-22
- [20] Багаев С.С. Об оставлении на корню фаунной осины при рубках смешанных лесных насаждений // *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*, 2013. № 1. С. 11–18.
- [21] Блонская Л.Н., Султанова Р.Р., Муфтахова С.И., Мартынова М.В., Конашова С., Сабирзянов И.Г., Тимерьянов А.Х., Ханова Е., Ишбирдина Л., Одинцов Г.В. Биологические показатели тополя башкирского Ломбардия (*Populus nigra* L. × *Populus nigra* var. *Italica Du Roi*) в городских ландшафтах // *Болгарский журнал сельскохозяйственной науки*, 2019. № 25 (S2). С. 30–36.
- [22] Kim T.L., Chung H., Veerappan K., Lee W.Y., Park D., Lim H. Physiological and transcriptome responses to elevated CO₂ concentration in *Populus* // *Forests*, 2021, no. 12(8), p. 980. <https://doi.org/10.3390/f12080980>
- [23] Yu X., Lu B., Dong Y., Li, Y., Yang M. Cloning and functional identification of PeWRKY41 from *Populus* × *euramericana* pp. // *Industrial Crops and Products*, 2022, no. 175, p. 114. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114279>
- [24] Tullus A., Rytter L., Tullus T., Weih M., Tullus H. Short-rotation forestry with hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe // *Scandinavian J. of Forest Research*, 2012, no. 27(1), pp. 10–29. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.628949>
- [25] Богданов П.Л. Тополя и их культура. М.: Лесная пром-сть, 1965. 104 с.
- [26] Лесохозяйственный регламент Авзянского лесничества Республики Башкортостан. 2018 год. Ч. 1, 2018. 46 с.
- [27] Мукатанов А.Х. Лесные почвы Башкортостана. Уфа: Гилем, 2002, 263 с.
- [28] Сарсекова Д.Н. Выращивание плантационных тополевых культур на юго-востоке Республики Казахстан // *Леса России и хозяйство в них*, 2009. № 2 (32). С. 45–48.
- [29] Hemmati S., Gatmiri B., Cui Y.J., Vincent M. Validation d'un modèle d'extraction d'you par des racines d'arbre implanté dans θ-stoc // *Comptes Rendus du XVII^{ème} Congrès international de mécanique des sols et d'ingénierie géotechnique*. Alexandrie, Egipte, 5–9 October, 2009. Alexandrie, 2009, pp. 890–915.
- [30] Ключников Ю.В. Посадка и выращивание защитных лесных полос. Воронеж: Воронежское областное издательство, 1948, 59 с.
- [31] Вавин В.С., Рымарь В.Т., Ахтямов А.Г. Создание долговечных лесных насаждений в условиях юго-востока ЦЧП. Воронеж: Изд-во ГНУ НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева, 2007. 246 с.
- [32] Царев А.П. Рекомендации по выращиванию насаждений тополя в юго-восточной части европейской территории РСФСР. Воронеж: Изд-во ЦНИИЛГиС (ВНПО «Союзлесселекция»), 1986. 37 с.
- [33] Царев А.П., Погиба С.П., Лаур Н.В. Селекция лесных и декоративных древесных растений / под общ. ред. А.П. Царева. М.: МГУЛ, 2014. 552 с.
- [34] Клейн Р.М., Клейн Д.Т. Методы исследования растений. М.: Колос, 1974. С. 46–58.
- [35] Low J.E., Åslund M.L.W., Rutter A., Zeeb B.A. Effect of pruning and nodal adventitious roots on the uptake of polychlorinated biphenyls by *Cucurbita pepo* grown under field conditions // *Environmental Pollution*, 2011, no. 159(3), pp. 769–775. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.11.015>
- [36] Bellamine J., Penel C., Greppin H., Gaspar T. Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation // *Plant Growth Regulation*, 1998, no. 26, pp. 191–194. <https://doi.org/10.1023/A:1006182801823>
- [37] Singh B., Gill R.E.S. Carbon uptake and nutrient export by some tree species in an agroforestry system in Punjab, India // *Grassland Management and Agroforestry*, 2014, no. 35(1), pp. 107–114.
- [38] Шумаков Б.Б., Кирейчева Л.В. Экологические аспекты мелиорации // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*, 1994. № 4. С. 46–51.
- [39] Богданов П.Л. Дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1974. 240 с.
- [40] Примак Р. Основы сохранения биоразнообразия. М.: Изд-во УНЦ ДО МГУ, 2002. 256 с.

Сведения об авторах

Шамсутдинова Алия Руслановна✉ — аспирант, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», shamsutdinova.alya2015@yandex.ru

Султанова Рида Разябовна — д-р с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», vestnik-bsau@mail.ru

Мустафин Радик Флюсович — д-р с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», mustafin-1976@mail.ru

Поступила в редакцию 16.02.2024.

Одобрено после рецензирования 20.09.2024.

Принята к публикации 05.02.2025.

CULTIVATION OF SEEDLINGS (GENUS *POPULUS*) IN SOUTHERN URALS MOUNTAIN-FOREST ZONE

A.R. Shamsutdinova✉, **R.R. Sultanova**, **R.F. Mustafin**

Bashkir State Agrarian University, 34, 50-letiya Oktyabrya st., 450001, Ufa, Russia

shamsutdinova.alya2015@yandex.ru

Key aspects of fast-growing forest plantation formations as an effective and cost-effective method to mitigate the effects of climate change and decarbonisation in the territory of the Republic of Bashkortostan are considered. It is established that trees of *Populus* genus are one of the most actively absorbing carbon dioxide among tree species. The growth and rooting index of lombardy poplar *Populus Nigra* Var. × *Italica* Du Roi cuttings is shown. The detailed assessment of rooted cuttings biometric indices dependence on compliance with irrigation norms in the mountain-forest forest zone of the Republic of Bashkortostan is presented. The preparation and planting of cuttings process is described in detail. The average values of the roots length of second-order were determined and their variability during the growing season was revealed both at fulfilment of irrigation norm and without irrigation. The obtained results confirm high growth rates of rooted cuttings under the irrigation norm compared to natural conditions. The results of the study of the root system of lombardy poplar *Populus nigra* Var. × *Italica* Du Roi using Imager CI-600 without removing seedlings from the soil also confirm the formation of well-developed roots in the experimental conditions. The results of studies on the impact of irrigation compliance can be used in afforestation and forest management in the region.

Keywords: cuttings, seedlings, forestry, poplar, planting, roots, watering

Suggested citation: Shamsutdinova A.R., Sultanova R.R., Mustafin R.F. *Vyrashchivanie sazhentsev derev'ev roda Populus v gorno-lesnoy zone Yuzhnogo Urala* [Cultivation of seedlings (genus *Populus*) in Southern Urals mountain-forest zone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 2, pp. 30–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-2-30-41

References

- [1] Raihan A., Said M.N.M. Cost–benefit analysis of climate change mitigation measures in the forestry sector of Peninsular Malaysia. *Earth Systems and Environment*, 2022, no. 6(2), pp. 405–419. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00241-6>
- [2] Raihan A., Begum R.A., Mohd Said M.N., Abdullah S.M.S. A review of emission reduction potential and cost savings through forest carbon sequestration. *Asian J. of Water Environment and Pollution*, 2019, no. 16(3), pp. 1–7. <https://doi.org/10.3233/AJW190027>
- [3] Raihan A., Begum R.A., Mohd Said M.N., Pereira J.J. Assessment of carbon stock in forest biomass and emission reduction potential in Malaysia. *Forests*, 2021, no. 12(10), p. 1294. <https://doi.org/10.3390/f12101294>
- [4] Raihan A., Begum R.A., Said M.N.M., Abdullah S.M.S. Climate change mitigation options in the forestry sector of Malaysia. *Jurnal Kejuruteraan*, 2018, no. 1(6) pp. 89–98.
- [5] Mack M.C., Walker X.J., Johnstone J.F., Alexander H.D., Melvin A.M., Jean M., Miller S.N. Carbon loss from boreal forest wildfires offset by increased dominance of deciduous trees. *Science*, 2021, no. 372(6539), pp. 280–283. <https://doi.org/10.1126/science.abf3903>

- [6] Dumitraşcu M., Kucsicsa G., Dumitrică C., Urşanu Popovici E. A., Vrînceanu A., Mitrică B., Mocanu I., Şerban P.R. Estimation of future changes in aboveground forest carbon stock in Romania. A prediction based on forest-cover pattern Scenario. *Forests*, 2020, no. 11(9), p. 914. <https://doi.org/10.3390/f11090914>
- [7] Zhu W., Sang Y.L., Zhu Q., Duan B., Wang Y. Morphology and longevity of different-order fine roots in poplar (*Populus × euramericana*) plantations with contrasting forest productivities. *Canadian J. of Forest Research*, 2018, no. 48(6), pp. 611–620. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0296>
- [8] Zhu Y., Feng Z., Lu J., Liu J. Estimation of forest biomass in Beijing (China) using multisource remote sensing and forest inventory data. *Forests*, 2020, no. 11(2), pp. 163. <https://doi.org/10.3390/f11020163/>
- [9] Potapenko A.M., Lazareva M.S., Storozhishina K.M. *Vosstanovlenie shirokolistvennykh lesov, sozdannykh v poryadke rekonstruktsii malotsennykh lesnykh nasazhdeniy lesokul'turnym metodom* [Restoration of broad-leaved forests, created in the order of reconstruction of low-value forest plantations, by silvicultural method]. *Trudy BGTU. Ser. 1*, 2020, no 1. pp. 69–74.
- [10] Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Springer Dordrecht: Heidelberg-New-York-London, 2013, 754 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7088-1_10
- [11] Wang F., Xiong Z., Dai X., Li Y., Wang, L. The response of the species diversity pattern of *Populus* to climate change in China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2028, p. 116. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102858>
- [12] Zhou B., Kang Y., Leng J., Xu Q. Genome-wide analysis of the miRNA–mRNAs network involved in cold tolerance in, 2019. <https://doi.org/10.3390/genes10060430>
- [13] Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Shchavrovskiy V.A. *Povyshenie produktivnosti lesov* [Increasing forest productivity]. Ekaterinburg: UGLTU, 1995, 297 p.
- [14] Moiseev N.A. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Economics of forestry]. Moscow: MGUL, 2006, 384 p.
- [15] Nazarenko I.N. *Ekonomicheskaya organizatsiya vosproizvodstva lesnykh resursov* [Economic organisation of forest resources reproduction]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava* [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law], 2019, no. 4–1, pp. 113–117.
- [16] Petrov A.P., Il'in V.A., Nikolaeva G.N. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Economics of forestry]. Moscow: Ekologiya, 1993, p. 20.
- [17] Pirs P.Kh. *Vvedenie v lesnuyu ekonomiku* [Introduction to forest economics]. Moscow: Ekologiya, 1992, 224 p.
- [18] Tsarev A.P., Plugatar' Yu.V., Tsareva R.P. *Selektsiya i sortoispytanie topoley* [Poplar selection and variety testing]. Simferopol': ARIAL, 2019, p. 252.
- [19] Petrova G.A., Kalashnikova E.A., Mukhametshina A.R. *Analiz rosta osiny (Populus tremula L.), poluchennoy metodom in vitro v usloviyakh Respubliki Tatarstan* [Growth analysis of aspen (*Populus tremula* L.) produced by *in vitro* method in Republic of Tatarstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 15–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-15-22
- [20] Bagaev S.S. *Ob ostavlenii na kornyau fautnoy osiny pri rubkakh smeshannykh lesnykh nasazhdeniy* [On leaving standing aspen during felling of mixed forest stands]. *Tr. SPb. NIILKh* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2013, no. 1, pp. 11–18.
- [21] Blonskaya L., Sultanova R., Muftakhova S., Martynova M., Konashova S., Sabirzyanov I., Timer'yanov A., Khanova E., Ishbirdina L., Odintsov G. *Biologicheskie pokazateli topolya bashkirskogo Lombardiya (Populus nigra L. × Populus nigra var. italica Du Roi) v gorodskikh landshaftakh* [Biological indicators of Bashkir poplar Lombardia spp]. *Bolgarskiy zhurnal sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulgarian Journal of Agricultural Science], 2019, no. 25 (S2), pp. 30–36.
- [22] Kim T.L., Chung H., Veerappan K., Lee W.Y., Park D., Lim H. Physiological and transcriptome responses to elevated CO₂ concentration in *Populus*. *Forests*, 2021, no. 12(8), p. 980. <https://doi.org/10.3390/f12080980>
- [23] Yu X., Lu B., Dong Y., Li, Y., Yang M. Cloning and functional identification of PeWRKY41 from *Populus × euramericana* pp. *Industrial Crops and Products*, 2022, no. 175, p. 114. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114279>
- [24] Tullus A., Rytter L., Tullus T., Weih M., Tullus H. Short-rotation forestry with hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2012, no. 27(1), pp. 10–29. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.628949>
- [25] Bogdanov P.L. *Topolya i ikh kul'tura* [Poplars and their culture]. Moskva: Lesnaya promyshlennost', 1965, p. 104.
- [26] *Lesokhozyaystvennyy reglament Avzyanskogo lesnichestva Respubliki Bashkortostan. 2018 god. Chast' I* [Forest management regulations of Avzyanskoye lesnichestvo of the Republic of Bashkortostan. 2018. Part 1], 2018, 46 p.
- [27] Mukatanov A.Kh. *Lesnye pochvy Bashkortostana* [Forest soils of Bashkortostan]. Ufa: Gilem, 2002, 263 p.
- [28] Sarsekova D.N. *Vyrashchivanie plantatsionnykh topolevykh kul'tur na yugo-vostoke Respubliki Kazakhstan* [Plantation poplar cultivation in the south-east of the Republic of Kazakhstan], 2009, no. 2 (32), pp. 45–48.
- [29] Hemmati S., Gatmiri B., Cui Y.J., Vincent M. Validation d'un modèle d'extraction d'you par des racines d'arbre implanté dans θ-stoc // *Comptes Rendus du XVII éme Congrès international de mécanique des sols et d'ingénierie géotechnique*. Alexandrie, Egipte, 5–9 October, 2009. Alexandrie, 2009, pp. 890–915.
- [30] Klyuchnikov Yu.V. *Posadka i vyrashchivanie zashchitnykh lesnykh polos* [Planting and cultivation of protective forest belts], Voronezh, 1949, 59 p.
- [31] Vavin V.S., Rymar' V.T., Akhtyamov A.G. *Sozdanie dolgovechnykh lesnykh nasazhdeniy v usloviyakh yugo-vostoka TsChP* [Establishment of long-lived forest plantations in the conditions of the South-East of the CDC], Voronezh: GNU NIISKh TsChP im. V.V. Dokuchaeva, 2007, 246 p.
- [32] Tsarev A.P. *Rekomendatsii po vyrashchivaniyu nasazhdeniy topolya v yugo-vostochnoy chasti evropeyskoy territorii RSFSR* [Recommendations on growing poplar plantations in the south-eastern part of the European territory of the RSFSR.]. Voronezh: TsNIILGiS (VNPO «Soyuzlesselektsiya»), 1986, 37 p.

- [33] Tsarev A.P., Pogiba S.P., Laur N.V. pod obshch. red. A.P. Tsareva. *Selektsiya lesnykh i dekorativnykh drevesnykh rasteniy* [Selection of forest and ornamental woody plants]. Moscow: MGUL, 2014, 552 p.
- [34] Kleyn R.M., Kleyn D.T. *Metody issledovaniya rasteniy* [Methods of plant research]. Kolos: Moscow, 1974, pp. 46–58.
- [35] Low J.E., Åslund M.L.W., Rutter A., Zeeb B.A. Effect of pruning and nodal adventitious roots on the uptake of polychlorinated biphenyls by *Cucurbita pepo* grown under field conditions. *Environmental Pollution*, 2011, no. 159(3), pp. 769–775. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.11.015>
- [36] Bellamine J., Penel C., Greppin H., Gaspar T. Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation. *Plant Growth Regulation*, 1998, no. 26, pp. 191–194. <https://doi.org/10.1023/A:1006182801823>
- [37] Singh B., Gill R.E.S. Carbon uptake and nutrient export by some tree species in an agroforestry system in Punjab, India. *Grassland Management and Agroforestry*, 2014, no. 35(1), pp. 107–114.
- [38] Shumakov B.B., Kireycheva L.V. *Ekologicheskie aspekty melioratsii* [Ecological aspects of land reclamation]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk, 1994, no. 4., pp. 46–51.
- [39] Bogdanov P.L. Dendrologiya. M.: *Lesnaya promyshlennost'* [Forestry industry], 1974, 240 p.
- [40] Primak R. *Osnovy sokhraneniya bioraznoobraziya* [Fundamentals of biodiversity conservation]. Moscow: UNTs DO MGU, 2002, 256 p.

Authors' information

Shamsutdinova Aliya Ruslanovna✉ — pg. of the Bashkir State Agrarian University, shamsutdinova.alya2015@yandex.ru

Sultanova Rida Razyabovna — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Bashkir State Agrarian University, vestnik-bsau@mail.ru

Mustafin Radik Flusovich — Dr. Sci. (Agriculture) Professor of the Bashkir State Agrarian University, mustafin-1976@mail.ru

Received 16.02.2024.

Approved after review 20.09.2024.

Accepted for publication 05.02.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest