

## АНАЛИЗ РОСТА ОСИНЫ (*POPULUS TREMULA* L.), ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ *IN VITRO* В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Г.А. Петрова<sup>1✉</sup>, Е.А. Калашникова<sup>2</sup>, А.Р. Мухаметшина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Россия, Республика Татарстан, г. Казань, п. Дербышки, ул. Главная, д. 69

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, 127550, г. Москва, Лиственничная аллея, д. 3

guzel-petrva@rambler.ru

Приведены результаты эксперимента по размножению устойчивых к сердцевинной гнили клонов осины (*Populus tremula* L.) диплоидного и триплоидного генотипа методами микроклонального размножения и внедрения их в лесохозяйственное производство в условиях Республики Татарстан. Обоснована целесообразность применения данного метода в условиях Республики Татарстан для получения здорового посадочного материала осины, отличающейся быстрым ростом. Показана перспективность размножения клона № 35 с триплоидным генотипом и внедрения их в лесохозяйственное производство в условиях Республики Татарстан.

**Ключевые слова:** осина, диплоидный генотип, триплоидный генотип, *in vitro*

**Ссылка для цитирования:** 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

Осина (*Populus tremula* L.) — одна из быстрорастущих древесных пород, а древесина здоровой осины ценится довольно высоко. Распространена по всей территории России и приспособлена к лесным условиям. Данная порода неприхотлива и растет на среднеплодородных почвах, устойчива к морозам [1–3]. Как показали исследования, здоровая осина обладает многими ценными лесоводственными и хозяйственными свойствами, эффективно используется в качестве источника тепловой энергии [2, 6, 7]. В связи с этим в настоящее время важнейшей задачей лесоводов является создание и выращивание здоровых и высокопродуктивных осиновых насаждений [4–6]. К сожалению, осина склонна к поражению грибными болезнями, вызывающими сердцевинную гниль стволов, что приводит к снижению качества ее древесины [7–10]. Однако в пределах Республики Татарстан встречаются высокопродуктивные устойчивые к грибным болезням клоны. Вопрос заготовки деловой осины в достаточном объеме и получения дохода от ее реализации в бюджеты разных уровней давно интересует исследователей, поскольку традиционные способы вегетативного размножения не всегда имеют успех.

В настоящее время перспективную альтернативу традиционным методам селекции составляют методы клеточной биотехнологии [3, 11, 12]. В частности для размножения осины в промышленных масштабах и сохранения ее биоразнообра-

зия используют технологии клонального микро размножения — неполовым путем в условиях *in vitro*. Этот способ позволяет осуществлять размножение трудно размножающихся или совсем не размножающихся растений традиционными вегетативными способами. Важное преимущество микроклонального размножения — это сокращение продолжительности селекционного процесса. Кроме того, можно повысить качество посадочного материала древесных растений за счет его оздоровления и селективного размножения только лучших генотипов [11, 13]. Очень важно при этом в качестве исходного материала отбирать ценные экземпляры.

Существует много методов клонального микро размножения. В России некоторые научно-исследовательские институты уже освоили эти методы и разрабатывают промышленную технологию размножения элитных клонов осины. Такой технологии получения посадочного материала уделяют большое внимание во многих странах [14–16].

Опыт культивирования элитных клонов осины с применением метода *in vitro* говорит о том, что этот метод весьма перспективен для использования в лесном хозяйстве [14–19]. С его помощью можно размножать не только осину, но и другие быстрорастущие древесные породы. Осина, выращенная в условиях *in vitro*, растет в 2 раза быстрее обычной и является более устойчивой к грибным болезням [1, 3, 13, 20]. В связи с этим формирование продуктивных и устойчивых осиновых биогеоценозов признано актуальным.

## Цель работы

Цель работы — анализ роста осины, полученной методом *in vitro* в условиях Республики Татарстан.

## Объекты и методы исследований

Анализ роста осины был проведен в период с 2007 по 2020 гг. Использовались два устойчивых к сердцевинной гнили генотипа осины, выращенные в тремлетуме Костромской лесной опытной станции, характеризующиеся различной плоидностью: клон № 34 диплоидного генотипа (f2), клон № 35 — триплоидного (f11). С данных клонов были заготовлены побеги для получения здорового посадочного материала. Выращивание регенерантов обоих генотипов осины проводилось с использованием питательной среды Мурасига и Скуга (MS) с добавлением экзогенных стимуляторов роста —  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты (НУК) в концентрации 0,02 мг/л и 6-бензиламинопурина (БАП) в концентрации 0,5 мг/л при введении в культуру и 0,1 мг/л — при дальнейшем



*a*



*b*

**Рис. 1.** Пересаженные в теплицу (*a*) и пикировочные пакеты (*b*) растения-регенеранты

**Fig. 1.** Repotted into the greenhouse (*a*) picking packages (*b*) regenerated plants

микрочеренковании. Важным этапом при микроклональном размножении является стерилизация, которую осуществляли с помощью белизны. После этого готовили почечную меристему для введения в культуру путем удаления почечных чешуек и прилегающих к меристеме листочков. Далее готовый эксплант вводили в культуру. Колбы с растительным материалом ставили в световую комнату с круглосуточным освещением при интенсивности 1250 люкс и температуре 23 °С. В этих условиях происходило формирование микропобегов осины, которые в дальнейшем размножали путем микрочеренкования.

Размноженные микрочеренки укореняли путем добавления в питательную среду  $\beta$ -индолил-3-масляной кислоты (ИМК) в концентрации 2 мг/л. В течение 1 мес. пересаженные микрочеренки выращивали в световой комнате при соблюдении того же светового и температурного режима. За 1 мес. они вырастали и укоренялись. Сформированные таким образом пробирочные растения пересаживали для дальнейшей акклиматизации в теплицу со всеми необходимыми условиями — поливом, подкормкой, комфортной влажностью воздуха и обеспечивали соответствующий агротехнический уход. Половину выращенных в пробирке растений пересадили непосредственно в почвогрунт, другую половину — в пикировочные пакеты (рис. 1). Пересаженные растения ежедневно подкармливали смесью минерального удобрения «Кемира Люкс» с мелом (или известью).

## Результаты исследований

В течение 30 дней формировались микропобеги на первичном экспланте. По нашим наблюдениям, меристема триплоидной осины начала расти на 5-й день после введения в культуру, тогда как меристема диплоидной осины пошла в рост на 2 дня позднее. Это свидетельствует о том, что клон № 35 отличается большим морфогенетическим потенциалом по сравнению с клоном № 34. В течение 1 мес. выращивания микропобеги триплоидных форм достигали высоты 3 см, а диплоидные — всего 1 см. Наличие достоверной разницы между сравниваемыми формами по выживаемости почек и формированию побегов было доказано с помощью *t*-критерия Стьюдента ( $t = 5,1 > 3$ ).

Сформированные микропобеги осины черенковали и пересаживали на свежую питательную среду, содержащую стимулятор корнеобразования. В течение 40...45 дней происходило формирование растений с развитой корневой системой (рис. 2). Как показали результаты, более интенсивный рост наблюдался у осины с триплоидным генотипом. Микропобеги таких клонов давали больше микрочеренков.

Т а б л и ц а 1  
Показатели роста диплоидных  
и триплоидных регенерантов осины  
Growth rates of diploid and triploid aspen  
regenerants

Показатель	Клон № 34 (f2)	Клон № 35 (f11)
Средняя высота $H$ , см	$1,5 \pm 0,4$	$3,7 \pm 0,2$
Количество растений с корнями, %	$76,0 \pm 0,2$	$95,0 \pm 0,3$

Результаты исследования показали, что высота побегов регенерантов триплоидных осин была в 3 раза больше по сравнению с диплоидными формами, а также наблюдалась существенная разница по развитию корневой системы между этими формами. Так, количество растений со сформированной корневой системой у триплоидных осин оказалось практически на 20 % больше, чем у диплоидных (табл. 1).

Достоверная разница по высоте пробирочных растений подтверждена рассчитанным критерием Стьюдента ( $t$ ) —  $t = 5 > 3$ . По количеству растений с корнями также установлена достоверная разница, подтвержденная  $t$ -критерием Стьюдента ( $t = 52,3 > 3$ ). По данным табл. 1 была построена диаграмма сравнительного анализа роста регенерантов обоих генотипов осины перед высадкой их в теплицу (рис. 3).

На следующем этапе требовалась адаптация пробирочных растений к внешним условиям. С этой целью растения-регенеранты со сформированной корневой системой были пересажены в теплицу (рис. 4).

Наблюдения за процессом адаптации показали, что на приживаемость пробирочных растений повлиял срок их пересадки. Наиболее благоприятным оказался период весна — начало лета. В среднем приживаемость растений в условиях *in vivo* составила около 50 %. Неблагоприятное воздействие на процесс адаптации растений-регенерантов оказали погодные условия — после высадки была высокая температура воздуха (рис. 5).

Согласно проведенным наблюдениям за влиянием субстрата на приживаемость и дальнейший рост растений-регенерантов осины в условиях теплицы, все испытываемые субстраты пригодны для выращивания саженцев. Однако эффективность субстратов была различной [13]. Наилучшая приживаемость была отмечена на субстрате № 2 состава почвогрунт + дерновая почва + песок (1:1:1). Меньшая эффективность наблюдалась на субстрате № 3, представленном одним типом почвогрунта, и субстрате № 1 состава почвогрунт + песок (1:1).



Рис. 2. Проросток осины, клон № 35  
Fig. 2. Aspen seedling, clone No. 35

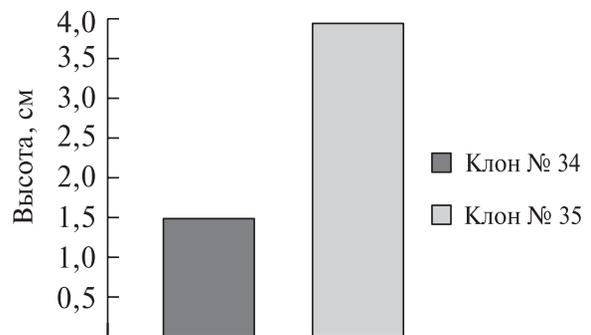


Рис. 3. Результаты биометрического анализа по высоте диплоидных и триплоидных регенерантов осины  
Fig. 3. Biometric analysis results of the diploid and triploid aspen regenerants height



Рис. 4. Пересаженное пробирочное растение осины, клон № 35  
Fig. 4. Repotted test-tube plant of aspen, clone No. 35



Рис. 5. Саженьцы осины, готовые к пересадке на лесокультурную площадь  
 Fig. 5. Aspen seedlings ready to be planted to the silvicultural area



Рис. 6. Маточная плантация триплоидной осины Дендрологического сада Государственного казенного учреждения «Сабинское лесничество», 2020 г.  
 Fig. 6. Mother plantation of triploid aspen of the Dendrological Garden of the State Treasury Institution «Sabinsky Forestry», 2020

Т а б л и ц а 2  
**Статистический анализ биометрических показателей растений-регенерантов осины**  
 Biometric parameters statistical analysis of aspen regenerated plants

Показатель	Диплоидный генотип	Триплоидный генотип
Показатели по высоте регенерантов, см		
Высота регенерантов $H$ , см	1,8	3,9
Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	0,6	1
Ошибка среднего значения $m_x$	0,02	0,05
Точность опыта $P$ , %	1,1	1,3
Коэффициент вариации $V$ , %	31	25,6
Показатели по длине корней регенерантов, см		
Длина корней $H$ , см	2,7	4,2
Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	0,6	1
Ошибка среднего значения $m_x$	0,03	0,06
Точность опыта $P$ , %	1,1	1,4
Коэффициент вариации $V$ , %	20,1	23,8

В табл. 2 приведены результаты статистического анализа биометрических показателей регенерантов осины.

Исследования показали, что на успешность адаптации растений-регенерантов к внешним условиям влияют следующие факторы: генотип растения, высота регенерантов, длина корневой системы, сроки высадки, способ перенесения регенерантов из пробирок в субстрат, качество субстрата и др. [3]. Установлено, что осина с триплоидным генотипом имела лучшую адап-

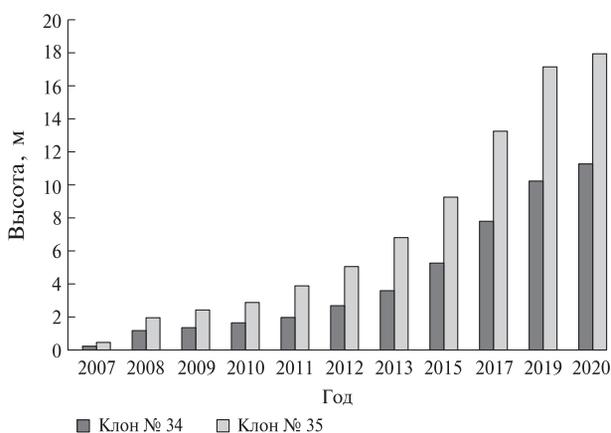


Рис. 7. Сравнительная динамика роста разноплоидных клонов осины за период с 2007 по 2020 гг.  
 Fig. 7. Comparative growth dynamics of heteroploid aspen clones for the period from 2007 to 2020

тационную способность (65 %), нежели осина с диплоидным генотипом (30 %). Вместе с тем триплоидные формы имели высоту побега в 2 раза больше, чем диплоидные формы [21, 22].

Адаптированные к внешним условиям растения осины были перенесены на лесокультурную площадь. Для этого на территории Дендрологи-

ческого сада Государственного казенного учреждения «Сабинское лесничество» была создана первая маточная плантация осины (рис. 6). Все высаженные на лесокультурную площадь саженцы осины прижились.

На протяжении всего периода исследования, начиная с момента посадки в 2007 г., показатели средней высоты триплоидных клонов в среднем в 2 раза превышают диплоидные генотипы (рис. 7). Различия по *t*-критерию Стьюдента достоверны. В возрасте 13 лет высота и диаметр триплоидного клона в 1,2 и 1,7 раза соответственно преобладают по сравнению с диплоидным. Это привело к увеличению среднего объема ствола в 3 раза [23].

Быстрота роста осинников и их устойчивость против сердцевинной гнили взаимосвязаны. Быстрорастущие формы осины оказались наиболее гнилоустойчивыми [10, 24]. Этот показатель, в первую очередь, зависит от индивидуальных особенностей той или иной формы осины. Таким образом, важно сохранить и продолжить воспроизводство ценного генофонда триплоидных клонов осины.

## Выводы

Методы микроклонального размножения растений успешно позволяют получать необходимое количество посадочного материала высокопродуктивных устойчивых к сердцевинной гнили клонов осины. В условиях Республики Татарстан наиболее перспективным оказался клон с триплоидным генотипом.

## Список литературы

- [1] Бовичева Н.А., Шабунин Д.А., Жигунов А.В. Выращивание саженцев триплоидной осины из регенерантов, полученных по технологии *in vitro* // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства, 2006. Вып. 3 (16). С. 68–76.
- [2] Газизуллин А.Х., Мубаракзянова Г.А., Бурганов Ф.Г. Осинники Республики Татарстан, их хозяйственное значение, современное состояние и проблемы повышения их экономического и экологического потенциала // Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан: сб. науч. статей КГСХА. Казань: Школа, 2005. Вып. 1. С. 169–177.
- [3] Петрова Г.А., Калашникова Е.А. Применение методов клеточной биотехнологии для сохранения биоразнообразия осины (*Populus tremula* L.) // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2008. Т. 3. № 1 (7). С. 147–150.
- [4] Александров О.С., Карлов Г.И. Развитие *Populus alba* L. и *Populus tremula* L. Видоспецифичные молекулярные маркеры на основе нетранскрибированного спейсерного полиморфизма 5S рДНК // Forests, 2019. № 10 (12). С. 1092.
- [5] Байбурун Р.К. Интродукция древесных растений, выращенных в культуре *in vitro* // Генетика и селекция на службе лесу: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: Изд-во ВЛТА, 1996. С. 11–13.
- [6] Яблоков А.С. Воспитание и разведение здоровой осины. М.: Гослесбумиздат, 1963. 440 с.
- [7] Баранчугов Е.Г. Задачи и проблемы лесной селекции в Республике Татарстан // Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан: сб. науч. статей КГСХА. Казань: Школа, 2005. Вып. 1. С. 30–33.
- [8] Гарипов Н.Р., Пуряев А.С. Структура осинников Закамья Республики Татарстан // Лесохозяйственная информация, 2017. № 4. С. 19–27. DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2017.4.02
- [9] Машкина О.С., Шабанова Е.А., Вариводина И.Н. Полевые испытания размноженных *in vitro* клонов осины (*Populus tremula* L.): рост, продуктивность, качество древесины, генетическая стабильность // ИВУЗ Лесной журнал, 2019. № 6. С. 25–38.
- [10] Яблоков А.С. Исполинская форма осины в лесах СССР // Труды ВНИИЛХ. М.: Изд-во ВНИИЛХ, 1941. 52 с.
- [11] Жигунов А.В., Шабунин Д.А., Бутенко О.Ю. Лесные плантации триплоидной осины, созданные посадочным материалом *in vitro* // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2014. № 4 (24). С. 21–30.
- [12] Tullus A., Rytter L., Tullus T. Short-Rotation Forestry with Hybrid Aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe // Scandinavian Journal of Forest Research, 2012, v. 27, iss. 1, pp. 10–29.
- [13] Мухаметшина А.Р., Петрова Г.А., Шайхразиев Ш.Ш., Гибадуллин Н.Ф., Русакова Э.С. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании ели европейской (*Picea abies* L.) в закрытом грунте // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 81–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-81-86
- [14] Шабунин Д.А., Быченкова Э.А. Осина размноженная методом *in vitro* — перспективная порода для плантационного выращивания на сельскохозяйственных землях // Проблемы комплексного использования и мелиорации земель на водосборе: Материалы Междунар. симп. СПб.: Изд-во СПбНИИЛХ, 2002. С. 30–32.
- [15] Шабунин Д.А., Подольская В.А. Осина из пробирики // Лесная Россия, 2005. № 10. С. 24–25.
- [16] Greer V.T., Still C., Cullinan G.L. Polyploidy Influences Plant-Environment Interactions in Quaking Aspen (*Populus tremuloides* Michx.) // Tree Physiology, 2018, v. 38, iss. 4, pp. 630–640.
- [17] Лебедева М.В., Левкоев Э.А., Волков В.А. Опыт восстановления утраченных селекционных достижений *Populus × leningradensis* Bogd. и *Populus × newensis* Bogd. на основе микросателлитного анализа // Генетика, 2016. Т. 52. № 10. С. 1159–1168.
- [18] Campbell M.M., Brunner A.M., Jones H.M. Forestry's fertile crescent: the application of biotechnology to forest trees // Plant Biotechnology J., 2003, v. 1, pp. 141–154.
- [19] Pozdnyakov I., Azarova A., Shestibratov K. Effect of the Volume of Production of Planting Material on the Basis of Clonal Micropropagation on the Cost Price of In vitro-Rooted Birch and Aspen Microplants // International J. of Environmental & Science Education, 2016, v. 11, no. 18, pp. 12031–12048.
- [20] Жигунов А.В. Применение биотехнологий в лесном хозяйстве России // ИВУЗ Лесной журнал, 2013. № 2. С. 40–45.
- [21] Петрова Г.А. Получение здорового посадочного материала осины (*Populus tremula* L.) из каллусной ткани с целью оздоровления осинников Республики Татарстан // Уч. зап. Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, 2011. Т. 205. С. 169–173.

- [22] Petrova G.A., Yatmanova N.M., Mukhametshina A.R. Microclonal reproduction of common aspen (*Populus tremula* L.) genotypes in the Republic of Tatarstan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Cheboksary, 16 April 2021. Cheboksary, 2021, p. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/935/1/012003
- [23] Ulrich K., Ewald D. Breeding Triploid Aspen and Poplar Clones for Biomass Production // *Silvae Genetica*, 2014, v. 63, iss. 1–6, pp. 47–58.
- [24] Багаев С.Н., Коренев И.А., Багаев С.С. Особенности формирования быстрорастущих клонов в генетическом резервате исполинской осины // *Лесное хозяйство*, 2013. № 2. С. 26–28.
- [25] Газизуллин А.Х., Гарипов Н.Р., Пуряев А.С. Результаты исследования четырехлетних опытных культур осины, созданных в Республике Татарстан методами биотехнологии // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, 2011. Т. 6. № 3 (21). С. 118–120.

## Сведения об авторах

**Петрова Гузель Анисовна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур факультета лесного хозяйства и экологии, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», guzel-petrva@rambler.ru

**Калашникова Елена Анатольевна** — д-р биол. наук, профессор кафедры биотехнологии института агробиотехнологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», kalash0407@mail.ru.

**Мухаметшина Айгуль Рамилевна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур факультета лесного хозяйства и экологии, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», aigulsafina@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.03.2022.

Одобрено после рецензирования 13.05.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

## GROWTH ANALYSIS OF ASPEN (*POPULUS TREMULA* L.) PRODUCED BY IN VITRO METHOD IN REPUBLIC OF TATARSTAN

G.A. Petrova<sup>1</sup>, E.A. Kalashnikova<sup>2</sup>, A.R. Mukhametshina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State Agrarian University, 69, Glavnaya st., 420075, Derbyshki, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 3, Listvennichnaya alley, 127550, Moscow, Russia

guzel-petrva@rambler.ru

The paper presents the results of an experiment on the aspen clones (*Populus tremula* L.) reproduction resistant to heart rot of the diploid and triploid genotype by micropropagation methods and their introduction into forestry production in the conditions of the Republic of Tatarstan. The expediency of using this method in the conditions of the republic for obtaining healthy planting material of aspen, which is characterized by rapid growth, is substantiated. The prospects of clone No. 35 with a triploid genotype reproduction and its introduction into forestry production in the conditions of the Republic of Tatarstan are shown.

**Keywords:** aspen, diploid genotype, triploid genotype, in vitro

**Suggested citation:** Petrova G.A., Kalashnikova E.A., Mukhametshina A.R. *Analiz rosta osiny (Populus tremula L.), poluchennykh 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

## References

- [1] Bovicheva N.A., Shabunin D.A., Zhigunov A.V. *Vyrashchivanie sazhtentsev triploidnoy osiny iz regenerantov, poluchennykh po tekhnologii in vitro* [Cultivation of triploid aspen seedlings from regenerated plants obtained by in vitro technology]. *Trudy Sankt-Petersburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2006, iss. 3 (16), pp. 68–76.
- [2] Gazizullin A.Kh., Mubarakzyanova G.A., Burganov F.G. *Osinniki Respubliki Tatarstan, ikh khozyaystvennoe znachenie, sovremennoe sostoyanie i problemy povysheniya ikh ekonomicheskogo i ekologicheskogo potentsiala* [Osinniki of the Republic of Tatarstan, their economic importance, current state and problems of increasing their economic and environmental potential]. *Lesa, lesnoy sektor i ekologiya Respubliki Tatarstan: sb. nauch. statey KGSKhA* [Forests, forest sector and ecology of the Republic of Tatarstan: coll. scientific articles of the KSAA]. Kazan: Shkola [School], 2005, iss. 1, pp. 169–177.

- [3] Petrova G.A., Kalashnikova E.A. *Primenenie metodov kletochnoy biotekhnologii dlya sokhraneniya bioraznobraziya osiny (Populus Tremula L.)* [Application of methods of cellular biotechnology for biodiversity conservation of aspen (*Populus Tremula L.*)]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Kazan State Agrarian University], 2008, v. 3, no. 1 (7), pp. 147–150.
- [4] Aleksandrov O.S., Karlov G.I. *Razvitie Populus alba L. i Populus tremula L. Vidospetsifichnyye molekulyarnye markery na osnove netranskribirovannogo speysernogo polimorfizma 5S rDNK* [Development of *Populus alba L.* and *Populus tremula L.* Species-specific molecular markers based on non-transcribed 5S rDNA spacer polymorphism]. Forests [Forests], 2019, no. 10 (12), p. 1092.
- [5] Bayburin R.K. *Introduktsiya drevesnykh rasteniy, vyrashchennykh v kul'ture in vitro* [Introduction of woody plants grown in culture in vitro]. Genetika i selektsiya na sluzhbe lesu: tez. dokl. mezhd. nauchno-prak. konf. [Genetics and breeding in the service of the forest: abstract. report int. scientific and practical. conf.]. Voronezh: VGLTA, 1996, pp. 11–13.
- [6] Yablokov A.S. *Vospitanie i razvedenie zdorovoy osiny* [Raising and breeding a healthy aspen]. Moscow: Goslesbumizdat, 1963, 440 p.
- [7] Baranchugov E.G. *Zadachi i problemy lesnoy selektsii v Respublike Tatarstan* [Tasks and problems of forest selection in the Republic of Tatarstan]. Lesa, lesnoy sektor i ekologiya Respubliki Tatarstan: sb. nauch. statey KGSKhA [Forests, forest sector and ecology of the Republic of Tatarstan: coll. scientific articles of the KSAA]. Kazan': Shkola [School], 2005, iss. 1, pp. 30–33.
- [8] Garipov N.R., Puryaev A.S. *Struktura osinnikov Zakam'ya Respubliki Tatarstan* [The structure of aspen forests in the Trans-Kama region of the Republic of Tatarstan]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2017, no. 4, pp. 19–27. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2017.4.02
- [9] Mashkina O.S., Shabanova E.A., Varivodina I.N. *Polevye ispytaniya razmnozheniykh in vitro klonov osiny (Populus tremula L.): rost, produktivnost', kachestvo drevesiny, geneticheskaya stabil'nost'* [Field trials of in vitro propagated clones of aspen (*Populus tremula L.*): growth, productivity, wood quality, genetic stability]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2019, no. 6, pp. 25–38.
- [10] Yablokov A.S. *Ispolinskaya forma osiny v lesakh SSSR* [Giant form of aspen in the forests of the USSR]. Trudy VNIILKh [Proceedings of VNIILKh]. Moscow: VNIILKh, 1941, 52 p.
- [11] Zhigunov A.V., Shabunin D.A., Butenko O.Yu. *Lesnye plantatsii triploidnoy osiny, sozdannye posadochnym materialom in vitro* [Triploid aspen forest plantations created by planting material in vitro]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management], 2014, no. 4 (24), pp. 21–30.
- [12] Tullus A., Rytter L., Tullus T. Short-Rotation Forestry with Hybrid Aspen (*Populus tremula L. × P. tremuloides Michx.*) in Northern Europe. Scandinavian Journal of Forest Research, 2012, v. 27, iss. 1, pp. 10–29.
- [13] Mukhametshina A.R., Petrova G.A., Shaykhraziev Sh.Sh., Gibadullin N.F., Rusakova E.S. *Effektivnost' primeniya stimulyatorov rosta pri vyrashchivaniy eli evropeyskoy (Picea abies L.) v zakrytom grunte* [Effectiveness of growth stimulants in European spruce cultivation under cover]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 81–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-81-86
- [14] Shabunin D.A., Bychenkoova E.A. *Osina razmnozhenaya metodom in vitro — perspektivnaya poroda dlya plantatsionnogo vyrashchivaniya na sel'skokhozyaystvennykh zemlyakh* [Aspen propagated by in vitro method — a promising breed for plantation cultivation on agricultural lands]. Problemy kompleksnogo ispol'zovaniya i melioratsii zemel' na vodosbore: materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma [Problems of integrated use and land reclamation in the catchment area: materials of the International Symposium]. St. Petersburg: SPbNIILKh, 2002, pp. 30–32.
- [15] Shabunin D.A., Podol'skaya V.A. *Osina iz probirki* [Aspen from a test tube]. Lesnaya Rossiya [Forest Russia], 2005, no. 10, pp. 24–25.
- [16] Greer B.T., Still C., Cullinan G.L. Polyploidy Influences Plant-Environment Interactions in Quaking Aspen (*Populus tremuloides Michx.*). Tree Physiology, 2018, v. 38, iss. 4, pp. 630–640.
- [17] Lebedeva M.V., Levkoev E.A., Volkov V.A. *Opyt vosstanovleniya uteryannykh selektsionnykh dostizheniy Populus × leningradensis Bogd. i Populus × newensis Bogd. na osnove mikrosatelitnogo analiza* [Experience in restoring the lost breeding achievements of *Populus × leningradensis Bogd.* and *Populus × newensis Bogd.* based on microsatellite analysis]. Genetika, 2016, v. 52, no. 10, pp. 1159–1168.
- [18] Campbell M.M., Brunner A.M., Jones H.M. Forestry's fertile crescent: the application of biotechnology to forest trees. Plant Biotechnology J., 2003, v. 1, pp. 141–154.
- [19] Pozdnyakov I., Azarova A., Shestibratov K. Effect of the Volume of Production of Planting Material on the Basis of Clonal Micropropagation on the Cost Price of In vitro-Rooted Birch and Aspen Microplants. International J. of Environmental & Science Education, 2016, v. 11, no. 18, pp. 12031–12048.
- [20] Zhigunov A.V. *Primenenie biotekhnologiy v lesnom khozyaystve Rossii* [Application of biotechnologies in forestry in Russia]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2013, no. 2, pp. 40–45.
- [21] Petrova G.A. *Poluchenie zdorovogo posadochnogo materiala osiny (Populus tremula L.) iz kallusnoy tkani s tsel'yu ozdorovleniya osinnikov Respubliki Tatarstan* [Obtaining healthy planting material of aspen (*Populus tremula L.*) from callus tissue in order to improve the health of aspen forests of the Republic of Tatarstan]. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman [Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine. N.E. Bauman], 2011, v. 205, pp. 169–173.
- [22] Petrova G.A., Yatmanova N.M., Mukhametshina A.R. *Microclonal reproduction of common aspen (Populus tremula L.) genotypes in the Republic of Tatarstan* [Microclonal reproduction of common aspen (*Populus tremula L.*) genotypes in the Republic of Tatarstan]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Cheboksary], 16 April 2021, Cheboksary, 2021, p. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/935/1/012003
- [23] Ulrich K., Ewald D. Breeding Triploid Aspen and Poplar Clones for Biomass Production. Silvae Genetica, 2014, v. 63, iss. 1–6, pp. 47–58.

- [24] Bagaev S.N., Korenev I.A., Bagaev S.S. *Osobennosti formirovaniya bystrorastushchikh klonov v geneticheskom rezervate ispolinskoj osiny* [Features of the formation of fast-growing clones in the genetic reserve of the giant aspen]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2013, no. 2, pp. 26–28.
- [25] Gazizullin A.Kh., Garipov N.R., Puryaev A.S. *Rezul'taty issledovaniya chetyrekhletnikh opytnykh kul'tur osiny, sozdannykh v Respublike Tatarstan metodami biotekhnologii* [The results of the study of four-year experimental cultures of aspen, created in the Republic of Tatarstan by methods of biotechnology]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State Agrarian University], 2011, v. 6, no. 3 (21), pp. 118–120.

## Authors' information

**Petrova Guzel Anisovna**  — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Taxation and Economics of the Forestry Industry Faculty of Forestry and Ecology, Kazan State Agrarian University, guzel-petrva@rambler.ru

**Kalashnikova Elena Anatolyevna** — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Biotechnology, Institute of Agrobiotechnology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education RGAU — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, kalash0407@mail.ru.

**Mukhametshina Aigul Ramilevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Cultures Faculty of Forestry and Ecology, Kazan State Agrarian University, aigulsafina@yandex.ru

Received 17.03.2022.

Approved after review 13.05.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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