

СТРУКТУРА ЛИСТА ОСИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *POPULUS TREMULA* L. И ОСИНЫ ГИБРИДНОЙ (*POPULUS TREMULA* L. × *POPULUS TREMULOIDES* MICHX.) (SALICACEAE) В КЛОНОВОМ АРХИВЕ

С.Н. Плюснина, А.Л. Федорков

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

pljusnina@ib.komisc.ru

Приведены данные по площади и анатомической структуре листа семи клонов осины гибридной (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) и семи клонов осины обыкновенной *Populus tremula* L. в возрасте 10 лет, произрастающих в клонном архиве Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Республика Коми). Показано, что площадь листа гибрида превосходит площадь листа осины обыкновенной на 44,6 % ($p < 0,0001$), а толщина листа — на 8,8 % ($p < 0,0001$). Получены и проанализированы данные морфометрии клеток и тканей листа, на основании которых высказано предположение о том, что увеличение морфологических параметров листа осины гибридной относительно материнской породы связано с ростом числа преимущественно антиклинальных клеточных делений при формировании листовой пластинки. Установлено, что толщина эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла, высота клеток столбчатого мезофилла и число рядов клеток губчатого мезофилла в листе осины гибридной статистически значимо превосходят таковые у осины обыкновенной.

Ключевые слова: *Populus tremula* L., *Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx., клоны, площадь листа, анатомия листа

Ссылка для цитирования: Плюснина С.Н., Федорков А.Л. Структура листа осины обыкновенной *Populus tremula* L. и осины гибридной (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) (Salicaceae) в клонном архиве // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 2. С. 23–28. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-23-28

Осина гибридная (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) получена в результате скрещивания евразийского вида *Populus tremula* L. и североамериканского вида *Populus tremuloides* Michx.

Высокая продуктивность, короткий оборот рубки и способность восстанавливаться после рубки вегетативным путем обусловили повышенный интерес селекционеров к осине гибридной при создании многоцелевых лесных плантаций в странах Северной Европы [1–5]. В частности, в Южной Швеции и Финляндии среднегодовой прирост гибридной осины достигает 25 м³ ствольной древесины на 1 га в год при обороте рубки 25 лет, что соответствует 8,2 т сухого вещества [6, 7].

В настоящее время ведется активный поиск наиболее перспективных для Северо-Запада России клонов осины гибридной [8, 9].

Одной из причин быстрого роста осины гибридной считается соматический гетерозис, т. е. способность гибридов обгонять в росте материнские виды [10]. Предполагается, что признаками, обуславливающими соматический гетерозис, могут быть количество и длина междоузлий, число листьев, площадь листа, размеры клеток листа, количество клеток на единицу площади листа и др. [11]. В литературе приведены особенности строения и свойств древесины видов рода *Populus* [12, 13], а также анатомия листьев некоторых видов этого рода и их гибридов, обсуждаются возможные связи структурных параметров листа и ростовых параметров деревьев [14, 15].

Цель работы

Цель работы — проведение сравнительного исследования морфологических и анатомических параметров листа осины обыкновенной *Populus tremula* и осины гибридной (*Populus tremula* × *Populus tremuloides*) в клонном архиве.

Материалы и методы

Объектом исследования служил клонный архив Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Республика Коми, подзона средней тайги), заложенный посадкой однолетних укорененных саженцев с закрытой корневой системой в сентябре 2009 г. [8]. Для исследования взято по семь клонов осины гибридной и осины обыкновенной.

Для морфологических и анатомических исследований в июле 2018 г. срезали побеги из средней части кроны с южной стороны дерева. В работе использовали сформированные листья с укороченных побегов. Определяли такие параметры, как площадь, удельная поверхностная плотность листа (УППЛ) и толщина листа, толщина мезофилла, в том числе столбчатого и губчатого по отдельности, а также их соотношение. Получены данные также по числу рядов клеток обоих типов мезофилла и их размеров. Поперечные срезы для приготовления временных препаратов получали из высечек между крупными жилками на уровне наиболее широкой части листа. Срезы изучали

с помощью микроскопа Axiovert 200 M (Carl Zeiss, Германия). Фотосъемку проводили цифровой камерой AxioCam ERc 5s (Carl Zeiss, Германия). Морфометрические измерения осуществляли в программе Carl Zeiss Vision (Carl Zeiss, Германия). Удельную поверхностную плотность листа считали как отношение абсолютно сухой массы листа, высушенного при температуре 105 °С, к его площади.

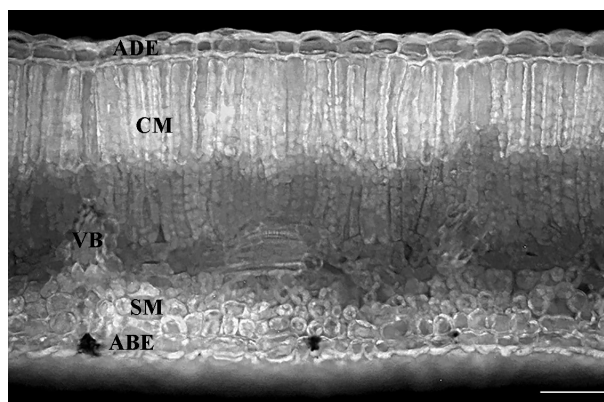
Для статистического анализа рассчитывали средние значения анатомических признаков для каждого листа (по десяти измерениям). У каждого клона проанализировано по 10 листьев. Согласно Н.Н. Свалову [16], распределение средних значений близко к нормальному, даже если исходная совокупность не является нормальной, что позволяет использовать параметрические тесты для статистического анализа данных.

Значимость различий между осиной обыкновенной и осиной гибридной оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента. Для статистического анализа использован пакет программ Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Как показали исследования, схема строения листа на поперечном срезе одинакова для осины гибридной и осины обыкновенной и включает в себя в межпучковом пространстве адаксиальную (верхнюю) эпидерму, столбчатый мезофилл (два ряда клеток, очень редко три), губчатый мезофилл (4–6 рядов клеток) и абаксиальную (нижнюю) эпидерму (рисунок).

Площадь листа осины гибридной статистически значимо ($p < 0,0001$) — на 44,6 % превосходит площадь листа осины обыкновенной (см. таблицу). Основной вклад в интеркалярный рост, благодаря которому лист достигает своего окончательного размера, вносят антиклинальные деления клеток пластинчатой меристемы [17]. Кроме числа клеток, образовавшихся вследствие деятельности меристемы, площадь листа зависит от тангентальных размеров и плотности расположения клеток в ряду основной ткани. Около 50 % объема листа изученных образцов в межпучковом пространстве и около 80 % основной фотосинтезирующей ткани (мезофилла) занимает столбчатый мезофилл. Плотность расположения клеток столбчатого мезофилла не различается между видами. На поперечном срезе листа в первом ряду ткани у осины гибридной и осины обыкновенной на 1 мм длины среза приходится соответственно 88,8 и 87,1 клеток. Диаметр (короткая ось на поперечном срезе) этих клеток у осины гибридной ($p < 0,05$) меньше на 3 %, чем у осины обыкновенной. В связи с этим увеличение площади листа свидетельствует о прямом увеличении



Поперечный срез листа осины гибридной (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.): ADE — адаксиальная эпидерма; CM — столбчатый мезофилл; SM — губчатый мезофилл; ABE — абаксиальная эпидерма; VB — проводящий пучок; размер линейки 50 мкм

Leaf cross section of hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.): ADE — adaxial epidermis; CM — columnar mesophyll; SM — spongy mesophyll; ABE — abaxial epidermis; VB — vascular bundle; line size 50 μm

числа клеток в ряду столбчатого мезофилла, т. е. более активной деятельности пластинчатой меристемы листа гибрида в период его роста, в большем количестве антиклинальных делений по сравнению с материнскими видами.

От радиальных размеров слагающих ткани клеток и числа их рядов зависит толщина листовая пластинки. По толщине листа осина гибридная превосходит осину обыкновенную на 8,8 % (см. таблицу). Это связано с повышением значений параметров как покровных, так и фотосинтезирующих тканей. По толщине эпидермы осина гибридная ($p < 0,0001$) превосходит осину обыкновенную на 16,2 и 9,8 % для адаксиальной и абаксиальной поверхностей соответственно (см. таблицу), по толщине ассимиляционной паренхимы — на 10 %. В увеличении последней участвуют как столбчатый, так и губчатый мезофилл, причем в равной степени, поэтому их соотношение у исследуемых культур не отличается. Среднее число рядов клеток столбчатого мезофилла на поперечных срезах листа у исследуемых осин одинаковое. Большая толщина столбчатого мезофилла осины гибридной связана с увеличением радиальных размеров клеток. Так, высота первого ряда клеток столбчатой паренхимы осины гибридной ($p < 0,01$) превосходит таковую осины обыкновенной 7,0 %.

Увеличение толщины губчатого мезофилла в листьях осины гибридной связано с формированием большего числа рядов клеток (см. таблицу). Их диаметр (по короткой оси) у осины гибридной ($p < 0,05$) уступает параметру рядов осины обыкновенной на 3,6 %.

Характеристика структуры листа осины гибридной и осины обыкновенной

The structure characteristics of aspen hybrid and aspen ordinary leaves

Параметр	<i>Populus tremula</i> L. × <i>Populus tremuloides</i> Michx.	<i>Populus tremula</i> L.	<i>p</i>
Площадь листа, см ²	24,3 ± 0,79	16,3 ± 0,88	< 0,0001
УППЛ, г/м ²	86,5 ± 1,7	83,5 ± 1,2	Н. з.
Толщина листа, мкм	195,2 ± 2,2	177,0 ± 1,3	< 0,0001
Толщина адаксиальной эпидермы, мкм	20,7 ± 0,3	17,8 ± 0,2	< 0,0001
Толщина абаксиальной эпидермы, мкм	15,7 ± 0,1	14,3 ± 0,2	< 0,0001
Толщина мезофилла, мкм	158,4 ± 2,2	146,7 ± 1,3	< 0,0001
Толщина столбчатого мезофилла, мкм	94,1 ± 1,8	87,2 ± 1,2	< 0,05
Толщина губчатого мезофилла, мкм	64,6 ± 0,7	60,1 ± 0,6	< 0,0001
Отношение толщины столбчатого к толщине губчатого мезофилла	1,48 ± 0,03	1,48 ± 0,03	Н. з.
Высота клеток столбчатого мезофилла, мкм	53,7 ± 0,9	50,2 ± 0,9	< 0,01
Диаметр клеток столбчатого мезофилла, мкм	12,8 ± 0,1	13,2 ± 0,1	< 0,05
Диаметр клеток губчатого мезофилла, мкм	13,3 ± 0,2	13,8 ± 0,3	Н. з.
Число рядов клеток столбчатого мезофилла	2,01 ± 0,006	2,01 ± 0,006	Н. з.
Число рядов клеток губчатого мезофилла	4,84 ± 0,04	4,41 ± 0,04	< 0,0001
<i>Примечание.</i> Н. з. — различие между видами статистически незначимо.			

Таким образом, утолщение листовой пластинки происходит за счет увеличения радиальных размеров клеток эпидермы и столбчатого мезофилла, а также увеличения числа рядов клеток губчатого мезофилла. Последнее является свидетельством большего числа периклинальных делений клеток при формировании листа осины гибридной по сравнению с осиной обыкновенной.

Удельная поверхностная плотность листа связана со многими аспектами роста и развития растения, косвенно характеризует толщину листа, отражает адаптацию фотосинтетического аппарата к комплексу условий среды [18]. Динамика УППЛ адекватно отражает увеличение числа клеток в период формирования листовой пластинки, их активное деление. После окончания клеточных делений УППЛ будет расти до тех пор, пока полностью не сформируются клеточные оболочки, которые составляют значительную долю в абсо-

лютно сухой массы листа. Таким образом, даже с одинаковым числом клеток на единицу площади листовой пластинки УППЛ разных объектов может значительно отличаться как минимум по причине толщины клеточных стенок. УППЛ используется при сравнении межвидовых и внутривидовых сортов и форм как травянистых [19], так и древесных растительных объектов [20]. Осина гибридная превосходит осину обыкновенную по УППЛ на 3,3 %, но это различие статистически незначимо (см. таблицу).

В литературе обсуждается связь между морфологическими и анатомическими признаками основного фотосинтезирующего органа и признаками, характеризующими интенсивность накопления биомассы. Для этого проводятся масштабные работы по селекции быстрорастущих пород. Так, на примере гибридного тополя (*Populus × euramericana* Dode (Guinier)) показано, что в первый год после посадки толщина столбчатого мезофилла листьев положительно коррелирует с биомассой, а площадь листа — с высотой и биомассой клонов [14]. На гибридных осинах после первого года вегетации выявлена положительная связь между количеством междоузлий и листьев, высотой и диаметром стволика [11]. По мере роста дерева происходит ветвление побегов, и его общая фотосинтезирующая поверхность зависит как от параметров, так и от общего числа формирующихся листьев. Поэтому связь между площадью листа и ростовыми признаками с возрастом растения ослабевает. На других генотипах тополей после третьего периода вегетации связь между площадью листа и биомассой надземных побегов обнаружена не была [15]. Согласно нашим данным, у 10-летних клонов не установлена корреляция между рассмотренными в данной работе структурными показателями листа и диаметром и высотой ствола осины гибридной и осины обыкновенной. Тем не менее после пятого периода вегетации сравнительная оценка деревьев в клоновом архиве Института биологии Коми НЦ УрО РАН подтвердила закономерность превышения показателей осины гибридной относительно осины обыкновенной: по высоте на 26 %, а после десятого периода вегетации — по диаметру на 65, по высоте на 49 %, по объему ствола более чем в 3 раза. Увеличение размеров фотосинтезирующих органов растения свидетельствует об успешной адаптации и способствует высокой интенсивности роста осины гибридной в условиях подзоны средней тайги.

Выводы

Таким образом, в условиях подзоны средней тайги лист осины гибридной, произрастающей в клоновом архиве, по площади и толщине пре-

восходит лист осины обыкновенной. Увеличение морфологических параметров листа осины гибридной относительно материнской породы связано с повышением числа преимущественно антиклинальных клеточных делений при формировании листовой пластинки и радиальных размеров клеток эпидермы и столбчатого мезофилла.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском Северо-Востоке России», номер государственной регистрации АААА-А17-117122090014-8.

Список литературы

- [1] Jansons A., Zeps M., Rieksts-Riekstīns J., Matisons R., Krišāns O. Height increment of hybrid aspen *Populus tremula* × *P. tremuloides* as a function of weather conditions in south-western part of Latvia // *Silva Fennica*, 2014, v. 48, no. 5. Article id. 1124. DOI: 10.14214/sf.1124
- [2] Pliūra A., Sushockas V., Sarsekova D., Gudynaite V. Genotypic variation and heritability of growth and adaptive traits, and adaptation of young poplar hybrids at northern margins of natural distribution of *Populus nigra* in Europe // *Biomass and Bioenergy*, 2014, vol. 70, pp. 513–529. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.09.011
- [3] Zeps M., Adamovics A., Smilga Ja., Sisenis L. Productivity and quality of Hybrid aspen at the age of 18 years // *Research for Rural Development*, 2016, v. 2, pp. 55–61.
- [4] Rytter L., Rytter R-M. Productivity and sustainability of hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) root sucker stands with varying management strategies // *Forest Ecology and Management*, 2017, v. 401, pp. 223–232. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.07.020
- [5] Stener L-G., Rungis D., Belevich V., Malm J. Change of clonal frequency in the second root sucker generation of hybrid aspen // *Forest Ecology and Management*, 2018, v. 408, pp. 174–182. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.10.034
- [6] Stener L.-G., Westin J. Early growth and phenology of hybrid aspen and poplar in clonal field tests in Scandinavia // *Silva Fennica*, 2017, v. 51, no. 3. Article id. 5656. DOI: 10.14214/sf.5656
- [7] Hytönen J., Beuker E., Viherä-Aarnio A. Clonal variation in basic density, moisture content and heating value of wood, bark and branches in hybrid aspen // *Silva Fennica*, 2018, vol. 52, no. 2. Article id. 9938. DOI: 10.14214/sf.9938
- [8] Федорков А.Л. Жизненное состояние и высота деревьев гибридной осины в клоновом архиве // *Лесоведение*, 2016. № 3. С. 195–198.
- [9] Бойцов А.К., Жигунов А.В., Григорьев А.А., Бондаренко А.С. Оценка перспективного использования клонов гибридных тополей и осины для плантационного лесовыращивания в условиях Северо-Запада России. // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017 г.)*. Т. 1. СПб.: СПб-ГЛТУ, 2018. С. 40–43.
- [10] Tullus A., Rytter L., Tullus T., Weih M., Tullus H. Short-rotation forestry with hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) in Northern Europe // *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2012, v. 27, pp. 10–29. DOI: 10.1080/02827581.2011.628949
- [11] Li B., Howe G. T., Wu R. Developmental factors responsible for heterosis in aspen hybrids (*Populus tremuloides* × *P. tremula*) // *Tree Physiology*, 1998, no. 18, pp. 29–36.
- [12] Ma H., Dong Y., Chen Z., Liao W., Lei B., Gao K., Li S., An X. Variation in the Growth Traits and Wood Properties of Hybrid White Poplar Clones // *Forests*, 2015, v. 6, pp. 1107–1120. DOI: 10.3390/f6041107
- [13] Царев А.П., Царева П.П., Царев В.А., Ленченкова О.Ю., Милигула Е.Н. Сортоиспытание и отбор гибридов тополя для полезащитных насаждений // *Лесотехнический журнал*, 2019. Т. 9. № 1 (33). С. 93–102.
- [14] Orlović S., Guzina V., Krstić B., Merkulov L. Genetic Variability in Anatomical, Physiological and Growth Characteristics of Hybrid Poplar (*Populus* × *euramericana* Dode (GUINIER)) and Eastern Cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) Clones // *Silvae Genetica*, 1998, v. 47, no. 5, pp. 183–190.
- [15] Al Afas N., Marrona N., Ceulemans R. Variability in *Populus* leaf anatomy and morphology in relation to canopy position, biomass production, and varietal taxon // *Ann. For. Sci.*, 2007, v. 64, pp. 521–532.
- [16] Свалов Н.Н. Вариационная статистика. М.: Лесная промышленность, 1977. 176 с.
- [17] Эзау К. Анатомия семенных растений. В 2 кн. Кн. 2. М.: Мир, 1980. 560 с.
- [18] Ivanov L.A., Ivanova L.A., Ronzhina D.A. Changes in the specific density of leaves of Eurasian plants along the aridity gradient // *Doklady Biological Sciences*, 2009, v. 428, no. 1, pp. 430–433.
- [19] Миракилов Х.М., Гиясидинов Б.Б., Абдуллаев Х.А., Каримов Х.Х., Солиева Б.А., Эргашева Э.А., Каспарова И.С. Удельная поверхностная плотность листа стародавних и современных сортов тонковолокнистого хлопчатника // *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*, 2013. Т. 56, № 3. С. 250–255.
- [20] Придача В.Б., Новичонок Е.В., Николаева Н.Н., Иванова Д.С., Сазонова Т.А. Влияние аммонийного азота на морфофизиологические показатели двух форм *Betula pendula* (Betulaceae) // *Растительные ресурсы*, 2018. Т. 54, № 2. С. 213–235.

Сведения об авторах

Плюснина Светлана Николаевна — канд. биол. наук, науч. сотр. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, pljusnina@ib.komisc.ru

Федорков Алексей Леонардович — д-р. биол. наук, вед. науч. сотр. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, fedorkov@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 02.10.2019.

Принята к публикации 13.12.2019.

LEAF STRUCTURE OF EUROPEAN ASPEN *POPULUS TREMULA* L. AND HYBRID ASPEN *POPULUS TREMULA* L. × *POPULUS TREMULOIDES* MICHX.) (SALICACEAE) IN CLONE BANK

S.N. Plyusnina, A.L. Fedorkov

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the RAS, 28, Kommunisticheskaya st., 167982, Syktyvkar, Russia

pljusnina@ib.komisc.ru

The article presents data on the size and anatomical structure of seven aspen hybrid clone leaf (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) and seven clones of the European aspen *Populus tremula* L. at the age of 10 years, growing in the clone bank at the Institute of Biology in the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (g. Syktyvkar, Komi Republic). It was shown that the leaf size of the hybrid exceeds the leaf size of the European aspen by 44,6 % ($p < 0,0001$), and the leaf thickness by 8.8 % ($p < 0,0001$). Morphometric data on cells and leaf tissues were obtained and analyzed, on the basis of which it was suggested that the increase in the morphological parameters of the aspen hybrid leaf relative to the parent breed is associated with an increase in the number of predominantly anticlinal cell divisions during leaf blade formation. It has been established that the thickness of the epidermis, columnar and spongy mesophyll, the height of columnar mesophyll cells and the number of rows of spongy mesophyll cells in the hybrid aspen leaf are statistically significantly greater than those of the European aspen.

Keywords: *Populus tremula* L., *Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx., clones, leaf area, leaf anatomy

Suggested citation: Plyusnina S.N., Fedorkov A.L. *Struktura lista osiny obyknovennoy Populus tremula L. i osiny gibridnoy (Populus tremula L. × Populus tremuloides Michx.) (Salicaceae) v klonovom arkhive* [Leaf structure of european aspen *Populus tremula* L. and hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) (Salicaceae) in clone bank]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 23–28.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-23-28

References

- [1] Jansons A., Zeps M., Rieksts-Riekstīns J., Matisons R., Krišāns O. Height increment of hybrid aspen *Populus tremula* × *P. tremuloides* as a function of weather conditions in south-western part of Latvia. *Silva Fennica*, 2014, v. 48, no. 5. Article id. 1124. DOI: 10.14214/sf.1124
- [2] Pliūra A., Sushockas V., Sarsekova D., Gudynaite V. Genotypic variation and heritability of growth and adaptive traits, and adaptation of young poplar hybrids at northern margins of natural distribution of *Populus nigra* in Europe. *Biomass and Bioenergy*, 2014, vol. 70, pp. 513–529. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.09.011
- [3] Zeps M., Adamovics A., Smilga Ja., Sisenis L. Productivity and quality of Hybrid aspen at the age of 18 years. *Research for Rural Development*, 2016, v. 2, pp. 55–61.
- [4] Rytter L., Rytter R-M. Productivity and sustainability of hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) root sucker stands with varying management strategies. *Forest Ecology and Management*, 2017, v. 401, pp. 223–232. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.07.020
- [5] Stener L-G., Rungis D., Belevich V., Malm J. Change of clonal frequency in the second root sucker generation of hybrid aspen. *Forest Ecology and Management*, 2018, v. 408, pp. 174–182. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.10.034
- [6] Stener L.-G., Westin J. Early growth and phenology of hybrid aspen and poplar in clonal field tests in Scandinavia. *Silva Fennica*, 2017, v. 51, no. 3. Article id. 5656. DOI: 10.14214/sf.5656
- [7] Hyttönen J., Beuker E., Viherä-Aarnio A. Clonal variation in basic density, moisture content and heating value of wood, bark and branches in hybrid aspen. *Silva Fennica*, 2018, vol. 52, no. 2. Article id. 9938. DOI: 10.14214/sf.9938
- [8] Fedorkov A. L. *Zhiznennoe sostoyanie i vysota derev'ev gibridnoy osiny v klonovom arkhive* [Vitality and height of quaking aspen trees in the clone archive]. *Lesovedenie* [Forest science], 2016, no. 3, pp. 195–198.
- [9] Boytsov A.K., Zhigunov A.V., Grigoriev A.A., Bondarenko A.S. 2018. *Otsenka perspektivnogo ispol'zovaniya klonov gibridnykh topoley i osiny dlya plantatsionnogo lesovyrashchivaniya v usloviyakh Severo-Zapada Rossii* [Evaluation of the prospective use of hybrid poplar and aspen clones for plantation growing under conditions of North-West Russia]. *Les Rossii: politika, promyshlennost, nauka, obrazovaniye: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of the international scientific and technical conference], May 24–26, 2017, v. 1. St. Petersburg: SPbGLTU, 2018, pp. 40–43.
- [10] Tullus A., Rytter L., Tullus T., Weih M., Tullus H. Short-rotation forestry with hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) in Northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2012, v. 27, pp. 10–29. DOI: 10.1080/02827581.2011.628949
- [11] Li B., Howe G. T., Wu R. Developmental factors responsible for heterosis in aspen hybrids (*Populus tremuloides* × *P. tremula*). *Tree Physiology*, 1998, no. 18, pp. 29–36.
- [12] Ma H., Dong Y., Chen Z., Liao W., Lei B., Gao K., Li S., An X. Variation in the Growth Traits and Wood Properties of Hybrid White Poplar Clones. *Forests*, 2015, v. 6, pp. 1107–1120. DOI: 10.3390/f6041107
- [13] Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A., Lenchenkova O.Yu., Miligula E.N. *Sortoispytanie i otbor gibridov topolya dlya polezashchitnykh nasazhdeniy* [Varietal testing and selection of poplar hybrids for shelterbelts] *Lesnoy vestnik / Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry magazine], 2019, t. 9, no. 1 (33), pp. 93–102.

- [14] Orlović S., Guzina V., Krstić B., Merkulov L. Genetic Variability in Anatomical, Physiological and Growth Characteristics of Hybrid Poplar (*Populus × euramericana* Dode (Guinier)) and Eastern Cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) Clones. *Silvae Genetica*, 1998, v. 47, no. 5, pp. 183–190.
- [15] Al Afas N., Marrona N., Ceulemans R. Variability in *Populus* leaf anatomy and morphology in relation to canopy position, biomass production, and varietal taxon. *Ann. For. Sci.*, 2007, v. 64, pp. 521–532.
- [16] Svalov N.N. *Variatsionnaya statistika* [Variation statistics]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1977, p. 176.
- [17] Ezau K. *Anatomiya semennykh rasteniy* [Anatomy of seed plants]. Book 2. Moscow: Mir, 1980, 560 p.
- [18] Ivanov L.A., Ivanova L.A., Ronzhina D.A. Changes in the specific density of leaves of Eurasian plants along the aridity gradient. *Doklady Biological Sciences*, 2009, v. 428, no. 1, pp. 430–433.
- [19] Mirakilov Kh.M., Giyasidinov B.B., Abdullaev Kh. A., Karimov Kh.H., Solieva B.A., Ergasheva E.A., Kasparova I.S. *Udel'naya poverkhnostnaya plotnost' lista starodavnikh i sovremennykh sortov tonkovoloknistogo khlopchatnika* [Specific leaf weight of obsolete and modern longstaple cotton cultivars]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadjikistan* [Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan], 2013, v. 56, no. 3, pp. 250–255.
- [20] Pridacha V.B., Novichonok E.V., Nikolaeva N.N., Ivanova D.S., Sazonova T.A. *Vliyanie ammoniyogo azota na morfofziologicheskie pokazateli dvukh form Betula pendula (Betulaceae)*. [Effects of ammonium nitrogen on morphophysiological parameters of two *Betula pendula* (Betulaceae) forms]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2018, v. 54, no. 2, pp. 213–235.

Authors' information

Plyusnina Svetlana Nikolaevna — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, pljusnina@ib.komisc.ru

Fedorkov Alexey Leonardovich — Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, fedorkov@ib.komisc.ru

Received 02.10.2019.

Accepted for publication 13.12.2020.