

ПИГМЕНТАЦИЯ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИН ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА БЕРЕЗА (*BETULA* L.)

Р.Н. Бабаев^{1,2}, Н.Н. Бессчетнова¹, В.П. Бессчетнов¹✉

¹Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

²Союз лесовладельцев Нижегородской области, 603005, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д. 9

lesfak@bk.ru

Проведена сравнительная оценка различных видов, входящих в таксономическую систему рода береза (*Betula* L.), по содержанию пигментов в листовом аппарате. Определено содержание пигментов, участвующих в фотосинтезе, методом спектрофотометрического анализа. Проведена оценка концентрации пигментов по оптической плотности вытяжки из измельченной листовой пластины в 96%-м этаноле. Установлено, что пигментный состав листового аппарата различных видов и форм березы определен генотипическими и фенотипическими особенностями. Изучаемые образцы внутри вида показали более сдержанный характер по разнице пигментного состава по отношению к межвидовому соотношению в июне. Однако при учете тех же исследуемых признаков в июле и августе их сдержанность наблюдалась также между видами и формами. Наследственный и адаптационный характер по содержанию фотосинтетических пигментов листового аппарата позволяет рассматривать указанный показатель как один из идентификационных признаков при селекционной инвентаризации и ревизии ассортиментного состава селекционно-семеноводческих объектов. Принимая во внимание успешность произрастания б. повислой на территории Нижегородской обл., следует, что б. карельская подходит для внедрения в состав вновь создаваемых насаждений, так как опыты подчеркивают ее ярко выраженное сходство с аборигенным видом.

Ключевые слова: береза, листовый аппарат, пигментный состав, хлорофилл, каротиноиды

Ссылка для цитирования: Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментация листовых пластин представителей рода береза (*Betula* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 3. С. 29–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-29-38

Повышение продуктивности и улучшение породного состава лесов на землях различного целевого назначения является одним из приоритетных направлений стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. Представители рода береза (*Betula* L.) широко распространены в умеренном климате Северного полушария, а их устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, ценные свойства древесины и различные средообразующие функции определяют ее экологическую, хозяйственную и экономическую значимость [1–5]. Пигментный состав листового аппарата вполне справедливо относят к важнейшим биологическим характеристикам древесных видов, связанным с режимом фотосинтеза, продуктивностью и адаптивностью [6–12]. Обоснованно признается его защитная роль: присутствие хлорофилла и каротиноидов усиливает резистентность растений [13, 14]. Динамику пигментного состава считают адаптивной реакцией на условия освещенности [15–20].

Цель работы

Цель работы — получение сравнительной оценки различных видов, входящих в таксоно-

мическую систему рода береза, по степени содержания хлорофилла и каротиноидов в листовых пластинках, определение максимальной схожести пигментного состава относительно аборигенного вида — березы повислой.

Материалы и методы

Объектами исследований служили виды и формы представителей рода береза (*Betula* L.), сосредоточенные в Ботаническом саду ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». В состав растительности ботанического сада входит 1 аборигенный вид — береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и 9 интродуцированных видов и форм: береза повислая Юнга (*Betula pendula Youngii* (Th. Moore) Schneid.); береза повислая пурпурная (*Betula pendula purpurea* (Andre) Schneid.); береза Эрмана, или береза каменная (*Betula Ermanii* Cham.); береза карельская (*Betula pendula var. carelica* Merckl.); береза даурская, или береза черная (*Betula dahurica* Pall.); береза вишневая (*Betula lenta* L.); береза белая китайская (*Betula albosinensis* Burk.); береза полусердцевидная (*Betula subcordata* (Rydb.) Sarg.); береза Радде (*Betula Raddeana* Trautv.).

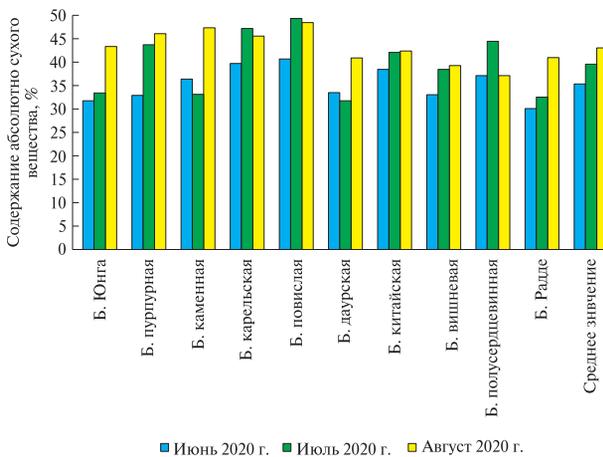


Рис. 1. Сравнительная диаграмма видов и форм березы по содержанию абсолютно сухого вещества в листовом аппарате в 2020 г.

Fig. 1. Comparative diagram of birch species and forms according to the content of absolutely dry matter in the leaf apparatus in 2020

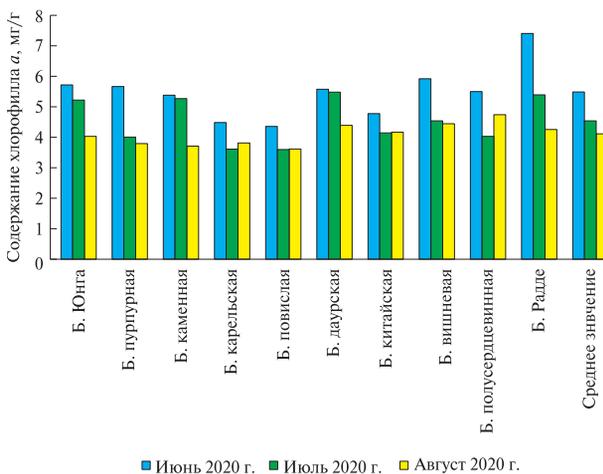


Рис. 2. Сравнительная диаграмма видов и форм березы по динамике содержания хлорофилла *a* в листовом аппарате в 2020 г.

Fig. 2. Comparative diagram of birch species and forms according to the dynamics of chlorophyll *a* content in the leaf apparatus in 2020

Исследования по определению содержания пластидных пигментов в листовом аппарате проводили согласно общепринятым методикам [21–35].

Определение содержания пигментов, участвующих в фотосинтезе, реализовано традиционными методами в ходе камерального этапа исследований. Вполне результативным и достаточно точным методом исследования пигментного состава листового аппарата признан спектрофотометрический анализ [21, 24, 25, 27, 28, 30–35]. С его помощью проведена оценка концентрации пигментов по оптической плотности вытяжки из измельченной листовой пластины в 96%-м

этаноле. Опыт повторяли ежемесячно в период с июня по август 2020 г. Побеги исследуемых видов для отбора листовых пластин заготавливали в дневные часы одновременно и равномерно с хорошо освещенных участков среднего яруса кроны. С каждого учетного дерева было срезано по три побега. Лабораторный анализ выполнен в аналитической лаборатории ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия». Далее проводили нарезку и взвешивание листовых пластин массой 1 г на электронных весах Acculab vicon vic-300d3 с точностью до 0,001 г. Следующим этапом работ послужило измельчение, перемалывание в муку полученных навесок в фарфоровых ступках. Измельчение выполнено вручную с добавлением крошки стекла и карбоната кальция CaCO_3 для нейтрализации клеточного сока. Полученную массу через два слоя фильтровальной бумаги переносили в мерные стаканы объемом 50 мл, а ступку тщательно промывали и ополаскивали этанолом. В целях предотвращения разрушения хлорофилла работы проводились в темном помещении. Полученную массу помещали отстаиваться в темный шкаф на 1–2 ч. После отстаивания полученный экстракт переносили в кварцевые кюветы объемом 4 мл и длиной оптического пути 10 мм, после чего кювету экстрактом и контрольную кювету с 96%-м этанолом помещали в спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4, позволяющим строить на мониторе компьютера спектры поглощения и фиксировать их максимумы. Оценку давали при длинах волн: 665 нм (хлорофилл *a*), 649 нм (хлорофилл *b*), 452,5 нм (каротиноиды). Содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, каротиноидов и их суммарное количество вычисляли по соответствующим уравнениям Ветштейна и Хольма для 96%-го раствора этанола [21, 25, 27, 28, 30–36].

Для перерасчета содержания анализируемых пигментов листового аппарата на единицу сухого вещества определяли его наличие в каждой навеске листовых пластин после высушивания до абсолютно сухого состояния в лабораторных сушильных шкафах HS 61 А. Обработка полученных данных осуществлялась в электронных таблицах Excel [37].

Результаты и обсуждение

Содержание абсолютно сухого вещества в листовом аппарате различных видов и форм березы свидетельствуют о том, что наибольшее содержание влаги приходится на июнь — 69,92 %, наименьшее — на июль и август, по 50,32 и 51,36 % соответственно (рис. 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение

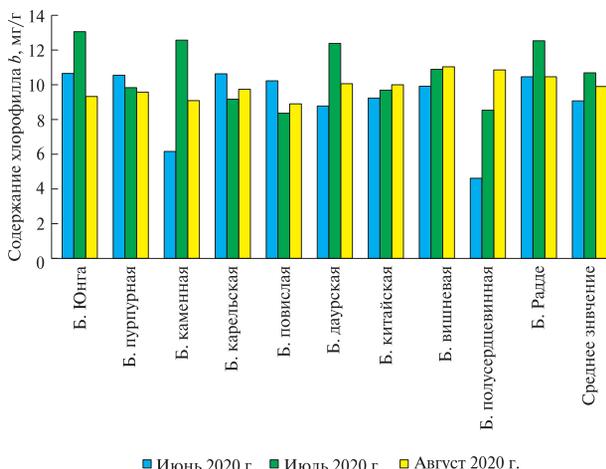


Рис. 3. Сравнительная диаграмма видов и форм березы по динамике содержания хлорофилла *b* в листовом аппарате в 2020 г.

Fig. 3. Comparative diagram of birch species and forms according to the dynamics of chlorophyll *b* content in the leaf apparatus in 2020

доли сухого вещества связано непосредственно с уменьшением светового дня, следовательно, со снижением продолжительности активной фазы фотосинтеза.

По результатам наблюдений установлены заметные различия пигментного состава листового аппарата деревьев представителей рода береза при выращивании на выровненном экотоне в динамике за три летних месяца. По содержанию хлорофилла *a* в листовом аппарате наибольшее его среднее значение отмечается в июне, при самом высоком результате у б. Радде $7,38 \pm 0,25$ мг/г, а наименьший — у б. повислой, аборигенного вида, $4,31 \pm 0,11$ мг/г. Наименьшее среднее значение в подавляющем большинстве случаев приходится на август — от $3,55 \pm 0,05$ мг/г у б. повислой до $4,71 \pm 0,14$ мг/г у б. полусердцевидной. Однако самый минимум по содержанию хлорофилла *a* приходится на июль для б. повислой — $3,53 \pm 0,05$ мг/г (рис. 2).

По содержанию хлорофилла *b* в листовом аппарате, в целом по опыту, наибольшее среднее значение достигнуто в июле — $10,55 \pm 0,21$ мг/г, а наименьшее — в июне, $8,98 \pm 0,26$ мг/г. При этом самый минимум хлорофилла *b* зафиксирован у б. полусердцевидной — $4,48 \pm 0,11$ мг/г (срок учета июнь), а максимум — б. Юнга, $12,90 \pm 0,43$ мг/г (срок учета июль). В августе все исследуемые виды и формы в той или иной степени имели среднее значение, которое составляло $9,75 \pm 0,11$ мг/г (рис. 3).

Содержание каротиноидов имеет следующие показатели: максимум значений приходится на б. полусердцевидную — $1,78 \pm 0,14$ мг/г (срок учета июнь), минимум — на б. карельскую, $0,61 \pm 0,02$ мг/г (срок учета июль). Максимум каротиноидов в подавляющем большинстве

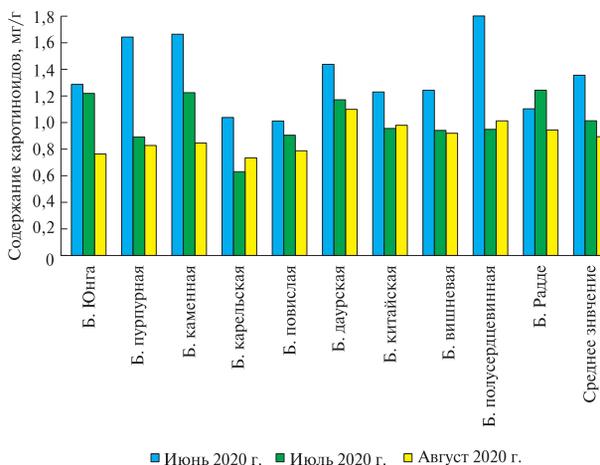


Рис. 4. Сравнительная диаграмма видов и форм березы по содержанию каротиноидов в листовом аппарате в 2020 г.

Fig. 4. Comparative diagram of birch species and forms according to the content of carotenoids in the leaf apparatus in 2020

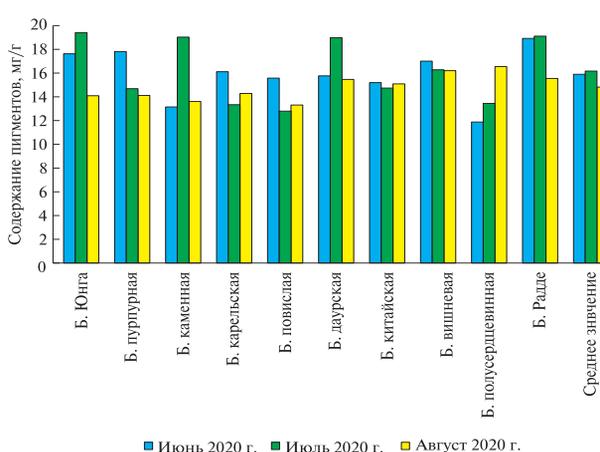


Рис. 5. Сравнительная диаграмма видов и форм березы по суммарному содержанию пигментов в листовом аппарате в 2020 г.

Fig. 5. Comparative diagram of birch species and forms by the total content of pigments in the leaf apparatus in 2020

случаев приходится на июнь. Минимум варьирует между июлем и августом. Однако средние значения в целом по опыту показывают динамику снижения содержания каротиноидов от июня к августу (рис. 4).

По суммарному содержанию всех учитываемых пигментов в листовом аппарате минимум показателя зафиксирован у б. полусердцевидной — $11,70 \pm 0,23$ мг/г (срок учета июнь), максимум — у б. Юнга, $19,23 \pm 0,66$ мг/г (срок учета июль) (рис. 5).

Существенность обнаруженных различий между исследуемыми видами и формами березы по исследуемым признакам пигментного состава листьев подтвердил однофакторный дисперсионный анализ (табл. 1).

**Оценки существенности различий между видами рода береза
по пигментному составу листового аппарата**

**Estimates of the significance of differences between species of the genus birch
by the pigment composition of the leaf apparatus**

Признак	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору		НСР ₀₅	D_{05}
		h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$		
Срок учета — июнь 2020							
1	29,69	0,7696	0,0259	0,7612	0,0269	0,443	0,800
2	15,84	0,6405	0,0404	0,6224	0,0425	1,459	2,632
3	7,66	0,4629	0,0604	0,4254	0,0646	0,276	0,498
4	15,24	0,6316	0,0414	0,6128	0,0436	1,527	2,755
5	17,71	0,6658	0,0376	0,6499	0,0394	2,365	4,267
Срок учета — июль 2020							
1	55,92	0,8628	0,0154	0,8592	0,0158	0,279	0,503
2	29,93	0,7710	0,0258	0,7627	0,0267	0,920	1,659
3	17,91	0,6684	0,0373	0,6527	0,0391	0,129	0,232
4	41,10	0,8222	0,0200	0,8167	0,0206	1,175	2,119
5	61,95	0,8745	0,0141	0,8713	0,0145	2,345	4,231
Срок учета — август 2020							
1	19,63	0,6883	0,0351	0,6743	0,0366	0,233	0,420
2	6,75	0,4315	0,0640	0,3898	0,0687	0,751	1,355
3	9,89	0,5266	0,0533	0,4968	0,0566	0,103	0,187
4	9,91	0,5272	0,0532	0,4976	0,0565	0,998	1,801
5	19,28	0,6844	0,0355	0,6701	0,0371	2,333	4,209

Примечание. Здесь и далее: 1 — содержание хлорофилла *a*; 2 — содержание хлорофилла *b*; 3 — содержание каротиноидов; 4 — суммарное содержание пигментов; 5 — содержание абсолютно сухого вещества; $F_{оп}$ — опытный критерий Фишера; h^2 — доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ — ошибка доли влияния организованного фактора; НСР₀₅ — наименьшая существенная разность; D_{05} — критерий Тьюки.

Различия между сравниваемыми представителями рода береза (экзотами и аборигенами) в пределах опытного участка оказались существенными и достоверными по всем исследуемым признакам. Значения опытного критерия Фишера превосходят соответствующие табличные величины на 5%-м и на 1%-м уровне значимости ($F_{05/01} = 1,97/2,59$).

Доля влияния организованных факторов, определенных в нашем случае принадлежностью к тому или иному виду и форме березы, при оценках составляла от $43,15 \pm 6,40$ % по методу Плохинского и $38,98 \pm 6,87$ % по методу Снедекора (признак 2, срок учета — август 2020) до $87,45 \pm 1,41$ % по методу Плохинского и $87,13 \pm 1,45$ % по методу Снедекора (признак 5, срок учета — июль 2020). Полученный результат свидетельствует о заметной генотипической обусловленности различий между исследуемыми видами и формами березы по их пигментному составу.

Достигнутые оценки соответствуют представлению о выровненности условий произрастания видов на территории Ботанического сада и минимизации в соответствии с этим влияния внешних факторов на дифференциацию анализируемых растений по учитываемым признакам.

Эффективность раздельного действия каждого из организованных факторов установлена по двухфакторному иерархическому дисперсионному анализу (табл. 2).

Влияние организованного фактора высшей иерархии (фактор *A*) не во всех случаях превышает значения критерия Фишера на 5 %-м и 1 %-м уровнях значимости ($F_{05/01} = 2,39/3,45$). В июне опытные значения критерия Фишера меньше табличных значений по содержанию каротиноидов — 2,27 (признак 3). В июле данное явление не проявляется, а в августе значение опытного критерия Фишера превосходит табличное значение на 1%-м уровне значимости по содержанию хлорофилла *b* и содержанию каротиноидов (2,50 и 3,25 соответственно).

Влияние организованного фактора низшей иерархии (фактор *B*) оказалось достоверным и превышало табличные значения критерия Фишера ($F_{05/01} = 1,75/2,20$) в двух периодах учета: в июне и августе. В июле влияние фактора *B* оказалось недостоверным по двум признакам: содержанию хлорофилла *a* — 1,59 (меньше 5%-го и 1%-го уровня значимости); содержанию абсолютно сухого вещества — 1,92 (меньше 1%-го уровня значимости).

Т а б л и ц а 2

Двухфакторный дисперсионный анализ по пигментному составу листового аппарата
Two-factor dispersion analysis on the pigment composition of the leaf apparatus

Признак	Источник дисперсии	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)			
			по Плохинскому		по Снедекору	
			h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$
Срок учета — июнь 2020						
1	Виды (A)	10,84	0,7696	0,0346	0,7316	0,0403
	Деревья (B)	6,51	0,1577	0,2808	0,1738	0,2754
	Остаток (Z)	—	0,0727	0,9273	0,0946	0,9054
2	Виды (A)	6,18	0,6405	0,0539	0,5925	0,0611
	Деревья (B)	5,34	0,2301	0,2566	0,2409	0,2530
	Остаток (Z)	—	0,1294	0,8706	0,1666	0,8334
3	Виды (A)	2,27	0,4629	0,0806	0,3958	0,0906
	Деревья (B)	16,40	0,4540	0,1820	0,5057	0,1648
	Остаток (Z)	—	0,0830	0,9170	0,0985	0,9015
4	Виды (A)	6,19	0,6316	0,0553	0,5847	0,0623
	Деревья (B)	4,80	0,2266	0,2578	0,2319	0,2560
	Остаток (Z)	—	0,1418	0,8582	0,1833	0,8167
5	Виды (A)	8,00	0,6658	0,0501	0,6262	0,0561
	Деревья (B)	3,72	0,1850	0,2717	0,1777	0,2741
	Остаток (Z)	—	0,1492	0,8508	0,1960	0,8040
Срок учета — июль 2020						
1	Виды (A)	40,34	0,8628	0,0206	0,8543	0,0219
	Деревья (B)	1,59	0,0475	0,3175	0,0240	0,3253
	Остаток (Z)	—	0,0896	0,9104	0,1217	0,8783
2	Виды (A)	13,20	0,7710	0,0343	0,7408	0,0389
	Деревья (B)	3,93	0,1298	0,2901	0,1280	0,2907
	Остаток (Z)	—	0,0991	0,9009	0,1311	0,8689
3	Виды (A)	8,88	0,6684	0,0497	0,6327	0,0551
	Деревья (B)	3,05	0,1672	0,2776	0,1492	0,2836
	Остаток (Z)	—	0,1644	0,8356	0,2181	0,7819
4	Виды (A)	22,35	0,8222	0,0267	0,8041	0,0294
	Деревья (B)	2,55	0,0817	0,3061	0,0668	0,3111
	Остаток (Z)	—	0,0961	0,9039	0,1291	0,8709
5	Виды (A)	39,75	0,8745	0,0188	0,8648	0,0203
	Деревья (B)	1,92	0,0489	0,3170	0,0316	0,3228
	Остаток (Z)	—	0,0766	0,9234	0,1036	0,8964
Срок учета — август 2020						
1	Виды (A)	9,15	0,6883	0,0468	0,6520	0,0522
	Деревья (B)	3,47	0,1672	0,2776	0,1572	0,2809
	Остаток (Z)	—	0,1445	0,8555	0,1908	0,8092
2	Виды (A)	2,50	0,4315	0,0853	0,3712	0,0943
	Деревья (B)	6,21	0,3834	0,2055	0,3992	0,2003
	Остаток (Z)	—	0,1851	0,8149	0,2297	0,7703
3	Виды (A)	3,25	0,5266	0,0710	0,4643	0,0804
	Деревья (B)	9,49	0,3597	0,2134	0,3958	0,2014
	Остаток (Z)	—	0,1137	0,8863	0,1399	0,8601
4	Виды (A)	3,76	0,5272	0,0709	0,4707	0,0794
	Деревья (B)	5,82	0,3119	0,2294	0,3262	0,2246
	Остаток (Z)	—	0,1609	0,8391	0,2031	0,7969
5	Виды (A)	8,93	0,6844	0,0473	0,6476	0,0529
	Деревья (B)	3,51	0,1702	0,2766	0,1607	0,2798
	Остаток (Z)	—	0,1453	0,8547	0,1917	0,8083

Примечание. Факторы влияния: A — организованный фактор высшей иерархии, действие которого связано с различиями между видами и формами; B — организованный фактор низшей иерархии, действие которого связано с различиями между учетными деревьями; Z — остаточная дисперсия (остаток) или случайное влияние не учитываемых в опыте факторов среды.

Характеристики пигментного состава листового аппарата различных видов и форм березы неодинаково восприимчивы к воздействию комплекса факторов среды. Остаточная дисперсия (фактор Z), возникающая под их влиянием, оказалась неравномерной: от 7,27 % в июне (признак 1) до 18,51 % в августе (признак 2).

Выводы

Пигментный состав листового аппарата разных видов и форм березы определен генотипическими и фенотипическими особенностями. Изучаемые образцы внутри вида показали более сдержанный характер по разнице показателей по отношению к межвидовому соотношению в июне. Однако при учете тех же показателей в июле и августе сдержанность показателей наблюдалась также между видами и формами.

Наследственный и адаптационный характер содержания фотосинтетических пигментов листового аппарата позволяет рассматривать указанную характеристику как один из идентификационных признаков при селекционной инвентаризации и ревизии ассортимента состава селекционно-семеноводческих объектов. Для оценки и обоснования селекционных качеств определенных видов, рекомендуемых для включения в состав вновь создаваемых насаждений в виде испытательных лесных культур, целесообразно использовать показатели содержания и баланса хлорофилла и каротиноидов в листовом аппарате как индикаторы их повышенной фотосинтетической активности.

Принимая во внимание успешность произрастания б. повислой на территории Нижегородской обл., следует, что б. карельская подходит для внедрения в состав вновь создаваемых насаждений, так как из опытов подчеркивается ее ярко выраженное сходство с аборигенным видом.

Список литературы

- [1] Захаров А.Б., Бессчетнов В.П. Аномалии ветвления березы (*Betula*) в защитных лесных полосах автомагистралей // ИВУЗ Лесной журнал, 2019. № 5. С. 95–104. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.95
- [2] Бабаев Р.Н. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов березы в условиях интродукции // Рост и воспроизводство научных кадров в АПК: Сб. трудов по итогам Российской национальной науч.-практ. интернет-конференции для обучающихся и молодых ученых, Нижний Новгород, 19–20 декабря 2019 года / под ред. Н.Н. Бессчетновой. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. С. 74–78.
- [3] Бабаев Р.Н. Сравнительная морфология листовых пластинок березы карельской и березы повислой на территории Нижегородской области // Современное лесное хозяйство — проблемы и перспективы: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию «ВНИИЛП ИСБиотех», Воронеж, 3–4 декабря 2020 года. Воронеж: Изд-во ВНИИЛП ИСБиотех, 2020. С. 22–25.
- [4] Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Лигнификация ксилемы разных видов березы при интродукции в условиях Нижегородской области // Изв. Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2021. № 235. С. 40–56. DOI 10.21266/2079-4304.2021.235.40-56
- [5] Zhao Xi-yang, Bian Xiu-yan, Li Zhi-xin, Wang Xiewei, Chehg-jun Yang, Liu Gui-feng, Jiang Jing, Kentbayev Y., Kentbayeva B., Yang Chuan-ping Genetic stability analysis of introduced *Betula pendula*, *B. kirghisorum*, and *Betula pubescens* families in saline-alkali soil of northeastern China // Scandinavian Journal of Forest Research, 2014, no. 4, 26 p.
- [6] Кундзиньш А.В., Игаунис Г.А., Гайлис Я.Я., Пирагс Д.М., Роне В.М., Ронис Э.Я., Сарма В.П., Смилга Я.Я. Лесная селекция. М.: Лесная пром-сть, 1972. 200 с.
- [7] Озолина И.А., Мочалкин А.И. Роль пигментов в защитно-приспособительных реакциях растений // Изв. АН СССР. Сер. Биол., 1972. № 1. С. 96–102.
- [8] Ходасевич Э.В. Фотосинтетический аппарат хвойных. Минск: Наука и техника, 1982. С. 199.
- [9] Воронин П.Ю., Ефимцев Е.И., Васильев А.А., Ватковский О.С., Мокронос А.Т. Проектное содержание хлорофилла и биоразнообразие растительности основных ботанико-географических зон России // Физиология растений, 1995. Т. 42. № 2. С. 295–302.
- [10] Тужилкина В.В., Бобкова К.С., Мартынюк З.П. Хлорофилльный индекс и ежегодный фотосинтетический сток углерода в хвойные фитоценозы на европейском севере России // Физиология растений, 1998. Т. 45. № 4. С. 594–600.
- [11] Тужилкина В.В. Проектное содержание хлорофилла в коренных еловых фитоценозах // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. № 4. С. 30–32.
- [12] Фомин В.В., Шавин С.А., Марина Н.В., Новоселова Г.Н. Неспецифическая реакция фотосинтетического аппарата хвой сосны на действие аэропромышленных загрязнений и затенения // Физиология растений, 2001. Т. 48. № 5. С. 760–765.
- [13] Моссэ И.Б., Молофей В.П., Кострова Л.Н. Развитие идеи Н.И. Вавилова о защитной роли пигментов в генетических экспериментах // Селекция, генетические ресурсы и сохранение генофонда лесных древесных растений (Вавиловские чтения): сб. науч. трудов Института леса НАН Беларуси, 2003. Вып. 59. С. 220–223.
- [14] Peguero-Pina J.J., Morales F., Gil-Pelegrin E. Frost Damage in *Pinus sylvestris* L. Stems Assessed by Chlorophyll Fluorescence in Cortical Bark Chlorenchyma // Annals of Forest Science, 2008, v. 65(8), pp. 813p1–813p6. DOI: 10.1051/forest:2008068
- [15] Niinemets Ü. Acclimation to Low Irradiance in *Picea abies*: Influences of Past and Present Light Climate on Foliage Structure and Function // Tree Physiology, 1997, v. 17, iss. 11, pp. 723–732. DOI: 10.1093/treephys/17.11.723
- [16] Niinemets Ü. Stomatal Conductance Alone Does not Explain the Decline in Foliar Photosynthetic Rates with Increasing Tree Age and Size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* // Tree Physiology, 2002, v. 22, iss. 8, pp. 515–535. DOI: 10.1093/treephys/22.8.515
- [17] Bouvier F., Backhaus R.A., Camara B. Induction and Control of Chloroplast Specific Carotenoid Genes by Oxidative Stress // J. of Biological Chemistry, 1998, v. 273, no. 46, pp. 30651–30659. DOI: 10.1074/jbc.273.46.30651
- [18] Skuodiene L. Quantitative Changes in Aminoacid Proline and Chlorophyll in the Needles of *Picea abies* Karst. (L.) during Stress and Adaptation // Biologija, 2001, no. 2, pp. 54–56.

- [19] Porcar-Castell A., Juurola E., Ensminger I., Berninger F., Hari P., Nikinmaa E. Seasonal Acclimation of Photosystem II in *Pinus sylvestris*. II. Using the Rate Constants of Sustained Thermal Energy Dissipation and Photochemistry to Study the Effect of the Light Environment // *Tree Physiology*, 2008, v. 28, iss. 10, pp. 1483–1491. DOI: 10.1093/treephys/28.10.1483
- [20] Porcar-Castell A., Juurola E., Ensminger I., Berninger F., Hari P., Nikinmaa E. Seasonal Acclimation of Photosystem II in *Pinus sylvestris*. I. Estimating the Rate Constants of Sustained Thermal Energy Dissipation and Photochemistry // *Tree Physiology*, 2008, v. 28, iss. 10, pp. 1475–1482. DOI: 10.1093/treephys/28.10.1475
- [21] Lichtenthaler H.K. Chlorophyll a and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // *Methods in Enzymology: Plant Cell Membranes*, 1987, v. 148, pp. 350–382.
- [22] Lichtenthaler, H.K. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy // *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 2001, unit F4.3, pp. F4.3.1–F4.3.
- [23] Lichtenthaler H.K. Biosynthesis and Accumulation of Isoprenoid Carotenoids and Chlorophylls and Emission of Isoprene by Leaf Chloroplasts // *Bulletin of the Georgian National Academy of sciences*, 2009, v. 3, no. 3, pp. 81–94.
- [24] Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy // *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, v. 975, pp. 384–394.
- [25] Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution // *J. of plant physiology*, 1994, v. 144, iss. 3, pp. 307–313.
- [26] Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*) // *Tree Physiology*. Victoria, Canada: Heron Publishing, 1997, v. 17 (12), pp. 767–775.
- [27] Бессчетнова Н.Н. Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*, 2010. № 6 (75). С. 4–10.
- [28] Бессчетнова Н.Н. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов // *Труды факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2011. № 1 (1). С. 56–65.
- [29] Miazek K., Ledakowicz S. Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: A kinetic approach // *International J. of Agricultural and Biological Engineering*, 2013, v. 6, no. 2, pp. 107–115.
- [30] Бессчетнова Н.Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по показателям пигментного состава хвои // *Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*, 2013. № 1 (17). С. 5–14.
- [31] Бессчетнова Н.Н. Индекс неидентичности в селекционной оценке плюсовых деревьев // *Вестник Саратовского государственного университета им. Н.И. Вавилова. Естественные, технические, экономические науки*, 2013. № 07. С. 11–15.
- [32] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. 368 с.
- [33] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Клишина Л.И., Храмова О.Ю., Быченкова Т.Н., Горелова З.В., Соколова А.А., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А., Шабалина М.В. Пигментный состав хвои семян сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2014. Т. 4. С. 36–51.
- [34] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Индекс генотипического несходства плюсовых деревьев как критерий их совместимости на лесосеменных плантациях // *Актуальные проблемы лесного комплекса / под ред. Е.А. Памфилова*. Брянск: БГИТУ, 2016. Вып. 44. С. 13–16.
- [35] Самойлова Л.И., Бессчетнов В.П. Содержание пигментов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выращенной по различным технологиям в Республике Татарстан // *Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии. Материалы междунар. науч.-практ. конф.: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой*. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2019. С. 212–219.
- [36] Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. Практикум по физиологии растений. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
- [37] Хэлворсон М. Эффективная работа с Microsoft Office 2006. СПб.: Питер, 2000. 1234 с.

Сведения об авторах

Бабаев Рамис Натигович — зам. генерального директора Союза лесовладельцев Нижегородской области, lp-ram17@yandex.ru

Бессчетнова Наталья Николаевна — д-р с.-х. наук, доцент, декан факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, besschetnova1966@mail.ru

Бессчетнов Владимир Петрович — д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, lesfak@mail.ru

Поступила в редакцию 08.11.2021.

Одобрено после рецензирования 17.12.2021.

Принята к публикации 04.04.2022.

GENUS BIRCH (*BETULA* L.) LEAF PLATES PIGMENTATION

R.N. Babaev^{1,2}, N.N. Besschetnova¹, V.P. Besschetnov¹✉

¹Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 97, Gagarin av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

²Union of Forest Owners of the Nizhny Novgorod region, 9, Nesterov st., 603005, Nizhny Novgorod, Russia

lesfak@bk.ru

A comparative assessment of various species included in the taxonomic system of the genus birch (*Betula* L.) by the content of pigments in the leaf apparatus was carried out. The content of pigments involved in photosynthesis was determined by spectrophotometric analysis. The concentration of pigments was estimated by the optical density of the extract from the crushed sheet plate in 96 % ethanol. It is established that the pigment composition of the leaf apparatus of various types and forms of birch is determined by genotypic and phenotypic features. The studied samples within the species showed a more restrained character in terms of the difference in pigment composition in relation to the interspecific ratio in June. However, when taking into account the same studied signs in July and August, their restraint was also observed between species and forms. The hereditary and adaptive nature of the content of photosynthetic pigments of the leaf apparatus allows us to consider this indicator as one of the identification features during the selection inventory and revision of the assortment composition of breeding and seed-growing objects. Taking into account the success of the growth of European birch on the territory of the Nizhny Novgorod region, it follows that Karelian birch is suitable for introduction into the newly created plantings, as experiments emphasize its pronounced similarity with the native species.

Keywords: birch, leaf apparatus, pigment composition, chlorophyll, carotenoids

Suggested citation: Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Pigmentatsiya listovykh plastin predstaviteley roda bereza (Betula L.)* [Genus birch (*Betula* L.) leaf plates pigmentation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 29–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-29-38

References

- [1] Zakharov A.B., Besschetnov V.P. *Anomalii vetvleniya berezy (Betula) v zashchitnykh lesnykh polosakh avtomagistraley* [Anomalies of birch branching (*Betula*) in protective forest lanes of highways]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 5, pp. 95–104. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.95
- [2] Babaev R.N. *Soderzhanie krakhmala v tkanyakh pobegov raznykh vidov berezy v usloviyakh introduksii* [Starch content in the tissues of shoots of different types of birch in the conditions of introduction]. *Rost i vosproizvodstvo nauchnykh kadrov v APK: Sbornik trudov po itogam Rossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii dlya obuchayushchikhsya i molodykh uchenykh*, Nizhny Novgorod, 19–20 dekabrya 2019 goda [Growth and reproduction of scientific personnel in the agro-industrial complex: A collection of papers on the results of the Russian National Scientific and practical Internet conference for students and young scientists, Nizhny Novgorod, December 19–20, 2019]. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhegorodskaya GSKhA [Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, pp. 74–78.
- [3] Babaev R.N. *Sravnitel'naya morfologiya listovykh plastin berezy karel'skoy i berezy povisloy na territorii Nizhegorodskoy oblasti* [Comparative morphology of leaf plates of Karelian birch and hanging birch on the territory of the Nizhny Novgorod region]. *Sovremennoe lesnoe khozyaystvo — problemy i perspektivy: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu «VNIILGISbiotech»* [Modern forestry — problems and prospects. Materials of the All-Russian Scientific and practical conference dedicated to the 50th anniversary of VNIILGISBiotech], Voronezh, December 3–4, 2020. Voronezh: VNIILGISbiotech, 2020, pp. 22–25.
- [4] Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Lignifikatsiya ksilemy raznykh vidov berezy pri introduksii v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti* [Lignification of xylem of different birch species during introduction in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of Saint-Petersburg forestry Academy], 2021, no. 235, pp. 40–56. DOI 10.21266/2079-4304.2021.235.40–56
- [5] Zhao Xi-yang, Bian Xiu-yan, Li Zhi-xin, Wang Xiewei, Chehg-jun Yang, Liu Gui-feng, Jiang Jing, Kentbayev Y., Kentbayeva B., Yang Chuan-ping Genetic stability analysis of introduced *Betula pendula*, *B. kirghisorum*, and *Betula pubescens* families in saline-alkali soil of northeastern China. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, no. 4, 26 p.
- [6] Kundzin'sh A.V., Igaunis G.A., Gaylis Ya.Ya., Pirags D.M., Rone V.M., Ronis E.Ya., Sarma V.P., Smilga Ya.Ya. *Lesnaya selektsiya* [Forest tree breeding]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forestry industry], 1972, 200 p.
- [7] Ozolina I.A., Mochalkin A.I. *Rol' pigmentov v zashchitno-prisposobitel'nykh reaktivnykh rasteniy* [The role of pigments in protective and adaptive reactions of plants]. *Izvestiya AN SSSR. Series Biology*, 1972, no. 1, pp. 96–102.
- [8] Khodasevich E.V. *Fotosinteticheskiy apparat khvoynykh* [Photosynthetic apparatus of conifers]. Minsk: Nauka i tehnika [Science and technology], 1982, 199 p.
- [9] Voronin P.Yu., Efimtsev E.I., Vasil'ev A.A., Vatkovskiy O.S., Mokronosov A.T. *Proektivnoe sodержanie khlorofilla i bioraznoobrazie rastitel'nosti osnovnykh botaniko-geograficheskikh zon Rossii* [Projective chlorophyll content and biodiversity of vegetation main phytogeographical zones of Russia]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology], 1995, t. 42, no. 2, pp. 295–302.
- [10] Tuzhilkina V.V., Bobkova K.S., Martynyuk Z.P. *Khlороfill'nyy indeks i ezhгодnyy fotosinteticheskiy stok ugleroda v khvoynye fitotsenozy na evropeyskom severe Rossii* [Chlorophyll index and annual photosynthetic carbon sinks in the coniferous plant communities in the European North of Russia]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology], 1998, t. 45, no. 4, pp. 594–600.
- [11] Tuzhilkina V.V. *Proektivnoe sodержanie khlorofilla v korennykh elovykh fitotsenozakh* [Projective chlorophyll content in indigenous communities of spruce]. *Vestnik Instituta biologii Komi NC UrO RAN* [Bulletin of the Institute of biology, Komi scientific center, Ural branch, Russian Academy of Sciences], 2009, no. 4, pp. 30–32.

- [12] Fomin V.V., Shavin S.A., Marina N.V., Novoselova G.N. *Nespetsificheskaya reaktsiya fotosinteticheskogo apparata khvoi sosny na deystvie aeropromyshlennykh zagryazneniy i zatneniya* [Nonspecific reaction of the photosynthetic apparatus of pine needles to the effect of airborne pollution and shading]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology], 2001, t. 48, no. 5, pp. 760–765.
- [13] Mosse I.B., Molofey V.P., Kostrova L.N. *Razvitie idei N.I. Vavilova o zashchitnoy roli pigmentov v geneticheskikh eksperimentakh* [The development of the idea of N.I. Vavilov on the protective role of pigments in genetic experiments]. *Selektsiya, geneticheskie resursy i sokhranenie genofonda lesnykh drevesnykh rasteniy (Vavilovskie chteniya): sb. nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Breeding, genetic resources and gene pool conservation of forest trees (Vasilevskii read): collection of articles. scientific works of the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus], 2003, v. 59, pp. 220–223.
- [14] Peguero-Pina J.J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost Damage in *Pinus sylvestris* L. Stems Assessed by Chlorophyll Fluorescence in Cortical Bark Chlorenchyma. *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65(8), pp. 813p1–813p6. DOI: 10.1051/forest:2008068
- [15] Niinemets Ü. Acclimation to Low Irradiance in *Picea abies*: Influences of Past and Present Light Climate on Foliage Structure and Function. *Tree Physiology*, 1997, v. 17, iss. 11, pp. 723–732. DOI: 10.1093/treephys/17.11.723
- [16] Niinemets Ü. Stomatal Conductance Alone Does not Explain the Decline in Foliar Photosynthetic Rates with Increasing Tree Age and Size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology*, 2002, v. 22, iss. 8, pp. 515–535. DOI: 10.1093/treephys/22.8.515
- [17] Bouvier F., Backhaus R.A., Camara B. Induction and Control of Chloroplast Specific Carotenoid Genes by Oxidative Stress. *J. of Biological Chemistry*, 1998, v. 273, no. 46, pp. 30651–30659. DOI: 10.1074/jbc.273.46.30651
- [18] Skuodiene L. Quantitative Changes in Aminoacid Proline and Chlorophyll in the Needles of *Picea abies* Karst. (L.) during Stress and Adaptation. *Biologija*, 2001, no. 2, pp. 54–56.
- [19] Porcar-Castell A., Juurola E., Ensminger I., Berninger F., Hari P., Nikinmaa E. Seasonal Acclimation of Photosystem II in *Pinus sylvestris*. II. Using the Rate Constants of Sustained Thermal Energy Dissipation and Photochemistry to Study the Effect of the Light Environment. *Tree Physiology*, 2008, v. 28, iss. 10, pp. 1483–1491. DOI: 10.1093/treephys/28.10.1483
- [20] Porcar-Castell A., Juurola E., Ensminger I., Berninger F., Hari P., Nikinmaa E. Seasonal Acclimation of Photosystem II in *Pinus sylvestris*. I. Estimating the Rate Constants of Sustained Thermal Energy Dissipation and Photochemistry. *Tree Physiology*, 2008, v. 28, iss. 10, pp. 1475–1482. DOI: 10.1093/treephys/28.10.1475
- [21] Lichtenthaler H.K. Chlorophyll a and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology: Plant Cell Membranes*, 1987, v. 148, pp. 350–382.
- [22] Lichtenthaler, H.K. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 2001, unit F4.3, pp. F4.3.1–F4.3.
- [23] Lichtenthaler H.K. Biosynthesis and Accumulation of Isoprenoid Carotenoids and Chlorophylls and Emission of Isoprene by Leaf Chloroplasts. *Bulletin of the Georgian National Academy of sciences*, 2009, v. 3, no. 3, pp. 81–94.
- [24] Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, v. 975, pp. 384–394.
- [25] Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. of plant physiology*, 1994, v. 144, iss. 3, pp. 307–313.
- [26] Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*). *Tree Physiology*. Victoria, Canada: Heron Publishing, 1997, v. 17 (12), pp. 767–775.
- [27] Besschetnova N.N. *Soderzhanie osnovnykh pigmentov v khvoe plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy* [The content of the main pigments in the conifers of the plus trees of the common pine]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 6 (75), pp. 4–10.
- [28] Besschetnova N.N. *Pigmentnyy sostav khvoi plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy v arkhivakh klonov* [The pigment composition of the needles of plus-sized pine trees in the archives of clones]. *Trudy fakul'teta lesnogo khozyaystva Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Proceedings of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy: Collection of scientific articles]. *Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskaya GSKhA* [Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2011, no. 1 (1), pp. 56–65.
- [29] Miazek K., Ledakowicz S. Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: A kinetic approach. *International J. of Agricultural and Biological Engineering*, 2013, v. 6, no. 2, pp. 107–115.
- [30] Besschetnova N.N. *Mnogomernaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) po pokazatelyam pigmentnogo sostava khvoi* [Multivariate assessment of the positive trees of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) by indicators of the pigment composition of needles]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature management], 2013, no. 1 (17), pp. 5–14.
- [31] Besschetnova N.N. *Indeks neidentichnosti v selektsionnoy otsenke plyusovykh derev'ev* [Index of non-identity in the selection evaluation of plus trees]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova. Estestvennye, tekhnicheskie, ekonomicheskie nauki* [Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Natural, technical, economic sciences], 2013, no. 07, pp. 11–15.
- [32] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Morfometriya i fiziologiya khvoi plyusovykh derev'ev* [Common pine (*Pinus sylvestris* L.). Morphometry and physiology of the needles of plus trees]. *Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskaya GSKhA* [Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2014, 368 p.
- [33] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Klishina L.I., Khramova O.Yu., Bychenkova T.N., Gorelova Z.V., Sokolova A.A., Kentbaev E.Zh., Kentbaeva B.A., Shabalina M.V. *Pigmentnyy sostav khvoi seyantsev sosny obyknovennoy s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy* [Pigment composition of needles of seedlings of scots pine with open and closed root system]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2014, t. 4, pp. 36–51.

- [34] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Indeks genotipicheskogo neskhodstva plyusovykh derev'ev kak kriteriy ikh sovmestimosti na lesosemennykh plantatsiyakh* [Index of genotypic dissimilarity of plus trees as a criterion of their compatibility on forest seed plantations]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]. Ed. E.A. Pamfilov. Bryansk: BGITU, 2016, v. 44, pp. 13–16.
- [35] Samoylova L.I., Besschetnov V.P. *Soderzhanie pigmentov v khvoe sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.), vyrashchennoy po razlichnym tekhnologiyam v Respublike Tatarstan* [The content of pigments in the coniferous pine (*Pinus sylvestris* L.) grown by various technologies in the Republic of Tatarstan]. Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials of the International scientific and practical conference]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhegorodskaya GSKhA [Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2019, pp. 212–219.
- [36] Tret'yakov N.N., Karnaukhova T.V., Panichkin L.A. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Practicum on plant physiology]. Ed. N.N. Tret'yakov. Moscow: Agropromizdat, 1990, 271 p.
- [37] Khelvorson M. *Effektivnaya rabota s Microsoft Office 2006* [Effective work with Microsoft Office 2006]. St. Petersburg: Peter, 2000, 1234 p.

Author's information

Babaev Ramis Natigovich — Deputy Director General of the Union of Forest Owners of the Nizhny Novgorod Region, lp-ram17@yandex.ru

Besschetnova Natal'ya Nikolaevna — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Dean of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, besschetnova1966@mail.ru

Besschetnov Vladimir Petrovich✉ — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Forest crops of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, lesfak@mail.ru

Received 08.11.2021.

Approved after review 17.12.2021.

Accepted for publication 04.04.2022.

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