

## НАСЛЕДСТВЕННАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ЛИСТВЕННИЦА

А.О. Есичев<sup>1</sup>, Н. Н. Бессчетнова<sup>2</sup>, В. П. Бессчетнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Министерство лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области, 603134, г. Нижний Новгород, ул. Костина, д. 2

<sup>2</sup>Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

lesfak@bk.ru

Исследовано содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое трех видов рода Лиственница (*Larix* Mill.): л. сибирской (*L. sibirica* Ledeb.), л. Гмелина (*L. Gmelinii* (Rupr.) Rupr.), л. Сукачева (*L. Sukaczewii* Dylic). Их семенное потомство сосредоточено на опытном участке в Сергачском лесничестве Нижегородской обл. с географическими координатами 55°32'14.2"N и 45°28'01.0"E, абсолютной высотой 160 м. Участок отнесен к зоне хвойно-широколиственных лесов (третья лесорастительная зона) и входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Спектрофотометрическим методом определено содержание в хвое хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов при длинах волн 665 нм, 649 нм, 452,5 нм. Выявлены фенотипические различия в пигментном составе хвои между представителями указанных видов. Обнаружено преобладание в пигментном составе лиственницы сибирской хлорофилла *a* ( $3,76 \pm 0,12$  мг/г), значительно меньше хлорофилла *b* ( $1,87 \pm 0,07$  мг/г) и еще меньше каротиноидов ( $0,59 \pm 0,02$  мг/г). Отмечена стабильность указанной структуры пигментного состава других видов лиственницы. Установлена наследственная обусловленность видоспецифичности л. сибирской, л. Гмелина и л. Сукачева (*L. Sukaczewii* Dylic) по всем тестируемым характеристикам. Наибольшее влияние ( $29,84 \pm 1,61$  %) на формирование общей фенотипической дисперсии отмечено по отношению содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов, наименьшее ( $5,89 \pm 2,16$  %) — по содержанию в хвое сухого вещества. Сравнительно высокие значения получены по доле каротиноидов ( $26,74 \pm 1,68$  %) и отношению их содержания к сумме хлорофиллов ( $26,39 \pm 1,69$  %). Показано, что исследованные виды проявили неодинаковый уровень сходства либо существенных различий между собой по отдельным характеристикам пигментного состава хвои.

**Ключевые слова:** лиственница, пигментный состав, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, видоспецифичность, наследственная обусловленность

**Ссылка для цитирования:** Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Наследственная обусловленность пигментного состава хвои представителей рода лиственница // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-5-13

Перспективы перехода отечественного лесного комплекса к инновационному типу эксплуатации и воспроизводства лесных ресурсов определены государственной стратегией его развития до 2030 г. В частности, сформулированы задачи селекционного совершенствования важнейших древесных пород, сохранения и расширения их видового разнообразия и внутривидового полиморфизма, модернизации форм хозяйственного использования с распространением достигнутых результатов в новые регионы. Своевременное и полномасштабное воплощение в жизнь намеченных планов невозможно без надежной опоры на достижения отраслевой науки, что, прежде всего, предполагает ее устойчивое развитие. Для этого необходимо оперативное получение точных сведений о наследственной обусловленности и масштабах варьирования базовых характеристик главных лесообразующих пород. На территории России — это род Лиственница (*Larix* Mill.), насаждения которой, характеризуясь заметным разнообразием видового состава, занимают около 40 % всей лесопокрытой площади и аккумулируют до 34 % запасов древесины. Колоссальное значение лиственничных лесов отмечается и для стабилизации экологической обстановки — выполнения ими

водоохранных, почвозащитных, рекреационных и бальнеологических функций. Общепризнано высокое их значение для продуктивного депонирования углерода. Поэтому интерес к представителям данного рода ни в России [1–3], ни за ее пределами [4–10] не ослабевает. Проводятся активные исследования систематики, физиологии, межвидового разнообразия и внутривидового полиморфизма рода Лиственница по широкому спектру признаков и свойств, имеющих хозяйственное, адаптационное и идентификационное значение [1–3, 11–18]. Пигментный состав листового аппарата во многом определяет параметры фотосинтеза и в конечном итоге продуктивность и устойчивость древесных растений [19–23]. Он неизменно входит в круг вопросов всестороннего изучения биологии хвойных пород [24–26], произрастающих, в частности, в Нижегородской обл. [27–30], в том числе лиственницы [31, 32]. Известно, что содержание пигментов в хвое зависит от генотипа [19–24, 33–35].

### Цель работы

Цель работы — оценка степени наследственной обусловленности фенотипических проявлений признаков пигментного состава хвои л. сибирской, л. Гмелина, л. Сукачева.

## Материалы и методы

Предмет исследований — наследственная обусловленность межвидовой изменчивости представителей рода Лиственница (*Larix* Mill.) по содержанию и соотношению в хвое пластидных пигментов и сухого вещества. Объект исследований — дендрологическая коллекция трех видов: л. сибирской (*L. sibirica* Ledeb.), л. Гмелина (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr.) и л. Сукачева (*L. Sukaczewii* Dylis). Последняя из них относится к аборигенной дендрофлоре Нижегородского Поволжья, другие виды являются экзотами. Территориально коллекция размещена в Сергачском межрайонном лесничестве Нижегородской обл. Географические координаты участка 55°32'14.2"N и 45°28'01.0"E, абсолютная высота 160 м. Он входит в зону хвойно-широколиственных лесов (третья лесорастительная зона), район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Сформировавшиеся здесь почвенно-климатические условия вполне благоприятны для произрастания аборигенных видов и экзотов лиственницы, что подтверждается наличием в границах лесничества естественных насаждений л. Сукачева I и даже Ia классов бонитета. За методологическую основу работы были взяты принцип единственного логического различия, репрезентативности и рандомности выборок, требования к типичности, пригодности и надежности опыта. В рамках полевого стационарного этапа проведена одновременная заготовка хвои с периферии хорошо освещенного участка кроны. Ее пучки отделяли из центральной части нормально

развитых побегов без признаков повреждений внешними факторами. В схеме опыта каждый вид был представлен 10 учетными деревьями, от каждого из которых заготовлено по три побега, служивших источником формирования первичных единиц выборки. Их общее количество составило 90 единиц. Лабораторные анализы выполнены спектрофотометрическим методом в соответствии с общепринятыми методиками количественного определения содержания в листовой массе фотосинтетических пигментов. Максимумы спектров поглощения фиксировали при длинах волн: 665 нм (хлорофилл *a*), 649 нм (хлорофилл *b*), 452,5 нм (каротиноиды) [19–23, 35, 36]. Принятая организационно-методическая схема широко реализуется в подобных исследованиях [19–23, 35]. Основные статистики находили по общеизвестным методическим схемам с использованием вычислительных алгоритмов для электронных таблиц Excel, разработанных авторами [19–24, 27, 28, 35].

## Результаты и обсуждение

Установлены основные характеристики содержания и соотношения пластидных пигментов в листовом аппарате трех видов лиственницы, введенных в схему опыта (табл. 1–3).

В общем составе пластидных пигментов фотосинтезирующего аппарата л. сибирской (см. табл. 1) количественно преобладает хлорофилл *a* ( $3,76 \pm 0,12$  мг/г), значительно меньше содержится хлорофилла *b* ( $1,87 \pm 0,07$  мг/г) и еще меньше — каротиноидов ( $0,59 \pm 0,02$  мг/г). Аналогичная картина наблюдается в содержании и балансе пластидных пигментов у других видов лиственницы (см. табл. 2, 3).

Т а б л и ц а 1

**Пигментный состав хвои лиственницы сибирской**  
**Pigment composition in Siberian larch needles**

Характеристики пигментного состава	Основные статистики			Точность опыта, %
	mid	max	min	
Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	$3,76 \pm 0,12$	4,87	2,81	3,13
Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	$1,81 \pm 0,18$	2,78	1,26	4,02
Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i> , мг/г	$5,57 \pm 0,02$	7,60	4,06	3,27
Содержание каротиноидов, мг/г	$0,59 \pm 0,04$	0,78	0,43	2,69
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>	$2,10 \pm 0,13$	2,39	1,60	2,06
Отношение хлорофилла <i>a</i> к каротиноидам	$6,42 \pm 0,05$	7,40	4,90	2,03
Отношение хлорофилла <i>b</i> к каротиноидам	$3,07 \pm 0,005$	3,85	2,57	1,62
Доля хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе	$0,68 \pm 0,005$	0,71	0,62	0,72
Доля хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе	$0,32 \pm 0,002$	0,38	0,29	1,49
Доля каротиноидов в пигментном составе	$0,10 \pm 0,002$	0,12	0,08	1,57
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов	$0,11 \pm 0,20$	0,13	0,09	1,75
Сумма пигментов, мг/г	$6,16 \pm 0,20$	8,38	4,49	3,18
Сухое вещество, %	$34,68 \pm 0,20$	38,59	29,38	1,39

Т а б л и ц а 2

## Пигментный состав хвои лиственницы Гмелина

## Pigment composition in Gmelin's larch needles

Характеристики пигментного состава	Основные статистики			Точность опыта, %
	mid	max	min	
Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	4,32 ± 0,09	5,27	3,43	1,97
Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	1,98 ± 0,04	2,52	1,53	2,05
Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i> , мг/г	6,30 ± 0,12	7,79	5,10	1,94
Содержание каротиноидов, мг/г	0,56 ± 0,01	0,64	0,45	1,43
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>	2,19 ± 0,02	2,38	1,96	1,02
Отношение хлорофилла <i>a</i> к каротиноидам	7,69 ± 0,11	8,70	6,77	1,40
Отношение хлорофилла <i>b</i> к каротиноидам	3,52 ± 0,05	4,17	2,86	1,47
Доля хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе	0,69 ± 0,002	0,70	0,66	0,32
Доля хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе	0,31 ± 0,002	0,34	0,30	0,71
Доля каротиноидов в пигментном составе	0,08 ± 0,001	0,09	0,07	1,26
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов	0,09 ± 0,001	0,10	0,08	1,37
Сумма пигментов, мг/г	6,86 ± 0,13	8,39	5,59	1,87
Сухое вещество, %	35,45 ± 0,38	40,45	32,02	1,07

Т а б л и ц а 3

## Пигментный состав хвои лиственницы Сукачева

## Pigment composition in Sukachev's larch needles

Характеристики пигментного состава	Основные статистики			Точность опыта, %
	mid	max	min	
Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	4,33 ± 0,12	5,69	3,01	2,79
Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	2,13 ± 0,06	2,80	1,47	2,84
Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i> , мг/г	6,46 ± 0,18	8,49	4,52	2,78
Содержание каротиноидов, мг/г	0,64 ± 0,01	0,71	0,57	0,97
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>	2,04 ± 0,02	2,26	1,90	0,89
Отношение хлорофилла <i>a</i> к каротиноидам	6,82 ± 0,20	9,26	4,84	2,94
Отношение хлорофилла <i>b</i> к каротиноидам	3,36 ± 0,10	4,56	2,32	2,94
Доля хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе	0,67 ± 0,002	0,69	0,66	0,29
Доля хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе	0,33 ± 0,002	0,34	0,31	0,58
Доля каротиноидов в пигментном составе	0,09 ± 0,002	0,12	0,07	2,66
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов	0,10 ± 0,003	0,14	0,07	2,95
Сумма пигментов, мг/г	7,10 ± 0,18	9,11	5,16	2,54
Сухое вещество, %	36,09 ± 0,42	41,58	31,68	1,15

Считается, что лиственный аппарат теневыносливых видов содержит не только общее большее количество хлорофиллов (суммарное содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b*), но и большее количество хлорофилла *b*. Следовательно, доля хлорофилла *b*, у теневыносливых видов должна быть выше, а отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b* — ниже. У светолюбивых растений, к которым относят лиственницу — наоборот.

В рассматриваемом случае наибольшая сумма хлорофиллов (6,46 ± 0,18 мг/г) обнаружена у л. Сукачева (см. табл. 3), наименьшее (5,57 ± 0,18 мг/г) — у л. сибирской (см. табл. 1), л. Гмелина занимала промежуточную позицию (6,30 ± 0,12 мг/г).

Отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b*, как один из важных показателей физиологического состояния и фотосинтетической активности растений для лиственницы сибирской (см. табл. 1) достигло значения 2,10 ± 0,04, несколько меньшего, чем для большинства других представителей семейства сосновые (*Pinaceae* L.) и адекватного нормальному соотношению указанных пигментов для листопадных лиственных древесных пород. Наибольшая оценка (2,19 ± 0,02) этого показателя отмечена у л. Гмелина (см. табл. 2), а наименьшая (2,04 ± 0,02) — у лиственницы Сукачева (см. табл. 3).

У светолюбивых растений, к числу которых традиционно относят практически все виды

**Существенность различий между представителями рода лиственница  
по пигментному составу хвои**

**Significance of differences between genus larch representatives in the pigment composition of needles**

Признаки пигментного состава	Критерий Фишера опытный	Влияние организованного фактора ( $h^2 \pm s_h^2$ )				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору		НСР <sub>05</sub>	D <sub>05</sub>
		доля влияния $h^2$	ошибка $\pm s_h^2$	доля влияния $h^2$	ошибка $\pm s_h^2$		
Содержание хлорофилла <i>a</i>	9,096	0,1729	0,0190	0,2125	0,0181	0,30	0,37
Содержание хлорофилла <i>b</i>	7,151	0,1412	0,0197	0,1702	0,0191	0,17	0,20
Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i>	8,455	0,1627	0,0192	0,1990	0,0184	0,45	0,56
Содержание каротиноидов	12,438	0,2223	0,0179	0,2760	0,0166	0,03	0,04
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>	6,506	0,1301	0,0200	0,1551	0,0194	0,08	0,10
Отношение хлорофилла <i>a</i> к каротиноидам	18,502	0,2984	0,0161	0,3685	0,0145	0,42	0,52
Отношение хлорофилла <i>b</i> к каротиноидам	10,583	0,1957	0,0185	0,2421	0,0174	0,20	0,24
Доля хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе	5,957	0,1204	0,0202	0,1418	0,0197	0,01	0,01
Доля хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе	5,957	0,1204	0,0202	0,1418	0,0197	0,01	0,01
Доля каротиноидов в пигментном составе	15,875	0,2674	0,0168	0,3315	0,0154	0,00	0,01
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов	15,599	0,2639	0,0169	0,3273	0,0155	0,01	0,01
Сумма пигментов	8,278	0,1599	0,0193	0,1952	0,0185	0,47	0,58
Сухое вещество	2,722	0,0589	0,0216	0,0543	0,0217	1,19	1,45

*Примечание.* НСР<sub>05</sub> — наименьшая существенная разность; D<sub>05</sub> — критерий Тьюки; критерий Фишера на 5%-м уровне значимости равен 3,10.

лиственницы, оценки отношения хлорофилла *b* к каротиноидам ниже. Так, в рассматриваемом случае наибольшее значение ( $3,52 \pm 0,05$ ) у л. Гмелина (см. табл. 2), а наименьшее ( $3,07 \pm 0,05$ ) — у л. сибирской (см. табл. 1). Лиственница Сукачева имела промежуточный результат ( $3,36 \pm 0,10$ ).

В целом межвидовые различия наблюдались практически по всем характеристикам пигментного состава хвои, включая долевыми оценками и отношениями. При этом масштаб таких различий специфичен в рамках тестируемых признаков. Поскольку исследуемые растения размещены на выровненном экофоне в границах единого участка, различия между ними в известной мере могут быть признаны наследственно обусловленными. В статистическом плане полученные данные достоверны, о чем свидетельствует значение относительной ошибки, по которой можно судить о точности опыта, не превысившее допустимого предела в 5 %.

Установленные фенотипические различия между видами лиственницы по признакам пигментного состава хвои (см. табл. 1–3) и полученные подтверждения статистической достоверности этих данных позволили провести по ним дисперсионный анализ (табл. 4).

Получено подтверждение существенности межвидовых различий рассматриваемого дисперсионного комплекса, на что указывают расчетные величины критерия Фишера, заметно превысившие по всем признакам минимально допустимый предел на 5%-м уровне значимости. Такой

результат позволил вычислить силу влияния межвидовых различий как организованного фактора опыта. Наибольшая оценка ( $29,84 \pm 1,61$  %) в расчетах по алгоритму Плохинского достигнута по отношению содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов (см. табл. 4), а наименьшая ( $5,89 \pm 2,16$  %) — по содержанию в хвое сухого вещества. Сравнительно высокие значения получены по доле каротиноидов и отношению их содержания к сумме хлорофиллов:  $26,74 \pm 1,68$  % и  $26,39 \pm 1,69$  % соответственно. Чувствительность характеристик пигментного состава хвои к действию условий среды также неодинакова. Все полученные в указанном порядке значения достоверны, а вычисления по алгоритму Снедекора дали вполне сопоставимый результат.

Оценки существенности различий (НСР<sub>05</sub> и D<sub>05</sub>) обозначили предел значений, выше которого величина фактической разности между средними величинами показателя (см. табл. 1–3), может быть признана существенной на пятипроцентном уровне значимости (см. табл. 4). В частности, по содержанию хлорофилла *a* л. сибирская достоверно отличалась от л. Гмелина и л. Сукачева, в то время, как и л. Гмелина, и л. Сукачева не имели между собой существенных различий. Аналогичная картина сложилась по суммарному содержанию хлорофилла *a* и хлорофилла *b*. По содержаниям хлорофилла *b*, каротиноидов и сухого вещества ситуация иная: от остальных существенно отличается только л. Сукачева.

## Выводы

1. Пигментный состав хвои аборигенных и интродуцированных представителей рода Лиственница в условиях Нижегородской обл. и носит видоспецифичный характер и подвержен внутривидовой изменчивости.

2. Различия между лиственницей сибирской, л. Гмелина и л. Сукачева по содержанию и соотношению пластидных пигментов обусловлены особенностями генотипов составляющих их особей, что проявилось на выровненном экофоне и подтверждено результатами дисперсионного анализа.

3. Исследованные виды демонстрировали неодинаковый уровень сходства либо существенных различий между собой в отдельных характеристиках пигментного состава хвои.

## Список литературы

- [1] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix Mill.*) в условиях Нижегородской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 1. С. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9
- [2] Улитин М.М., Бессчетнов В.П. Сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) при интродукции в Нижегородской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 6. С. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41
- [3] Улитин М.М., Бессчетнов В.П., Орнатский А.Н. Морфологические показатели шишек лиственницы сибирской в популяциях в полосах Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. Междунар. науч.-практ. конференции. Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 220–225.
- [4] Bonnet-Masimbert M., Pâques L. E., Baldet P., Philippe G. From flowering to artificial pollination in larch for breeding and seed orchard production // The Forestry Chronicle, 1998, v. 74, iss. 2, pp. 195–202. DOI: 10.5558/tfc74195-2
- [5] Sigurdsson B.D., Magnusson B., Elmarsdottir A., Bjarnadottir B. Biomass and composition of understorey vegetation and the forest floor carbon stock across Siberian larch and mountain birch chronosequences in Iceland // Annals of Forest Science, 2005, v. 62, no. 8, pp. 881–888. DOI: 10.1051/forest:2005079
- [6] Colas F., Perron M., Tousignant D., Parent C., Pelletier M., Lemay P. A novel approach for the operational production of hybrid larch seeds under northern climatic conditions // The Forestry Chronicle, 2008, v. 84, iss. 1, pp. 95–104. DOI: 10.5558/tfc84095-1
- [7] Aniszewska M. Analysis of opening cones of selected coniferous trees // Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering), 2010, v. 55, pp. 57–64.
- [8] Repáč I., Tučeková A., Sarvašová I., Vencurik J. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season // J. of Forest Science, 2011, v. 57, iss. 8, pp. 349–358. DOI: 10.17221/130/2010-JFS
- [9] Danek M., Chuchro M., Walanus A. Variability in Larch (*Larix Decidua Mill.*) Tree-Ring Growth Response to Climate in the Polish Carpathian Mountains // Forests, 2017, v. 8, iss. 10, article number 354, pp. 354 (1–22). DOI: 10.3390/f8100354
- [10] Aniszewska M., Gendek A., Zychowicz W. Analysis of Selected Physical Properties of Conifer Cones with Relevance to Energy Production Efficiency // Forests, 2018, v. 9, iss. 7, article number 405, pp. 405(1–12). DOI: 10.3390/f9070405
- [11] Markiewicz P. Problems with seed production of European larch in seed orchards in Poland // Seed orchards: Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, 26–28 September 2007. Uppsala, Sweden: Publikationstjänst, 2008, pp. 161–164.
- [12] Mihai G., Teodosiu M. Genetic diversity and breeding of larch (*Larix decidua Mill.*) in Romania // Annals of Forest Research, 2009, v. 52, no. 1, pp. 97–108. DOI: 10.15287/afr.2009.126
- [13] Nagaike T., Hayashi A., Kubo M. Diversity of naturally regenerating tree species in the overstorey layer of *Larix kaempferi* plantations and abandoned broadleaf coppice stands in central Japan // Forestry: An International J. of Forest Research, 2010, v. 83, iss. 3, pp. 285–291. DOI: 10.1093/forestry/cpq011
- [14] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: I. The influence of the provenance // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 2011, v. 68, no. 1, pp. 474–480.
- [15] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: II. The energy and capacity of germination of seeds // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 2011, v. 68, no. 1, pp. 481–487.
- [16] Vilcan A., Taut I., Holonec L., Mihalte L., Sestras R.E. The variability of different larch clone provenances on the response to the attack by its main pests and fungal diseases // Trees Structure and Function, 2013, v. 27, no. 3, pp. 697–705. DOI 10.1007/s00468-012-0825-1
- [17] Vilcan A., Mihalte L., Sestras A.F., Holonec L., Sestras R.E. Genetic variation and potential genetic resources of several Romanian larch populations // Turkish J. of Agriculture & Forestry, 2017, v. 41, no. 1, pp. 82–91. DOI: 10.3906/tar-1610-57
- [18] Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical distribution of foliar biomass in western larch (*Larix occidentalis*) // Canadian J. of Forest Research, 2018, v. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0299
- [19] Бессчетнова Н. Н. Специфика клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) по содержанию основных пигментов в хвое // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. Матер. III Междунар. интернет-семинара. г. Томск, 01–31 мая 2007 г. Томск: Томский государственный университет, 2007. С. 19–24.
- [20] 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.
- [21] Бессчетнова Н.Н. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов // Тр. факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. № 1 (1). С. 56–65.

- [22] Бессчетнова Н.Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по показателям пигментного состава хвои // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2013. № 1 (17). С. 5–14.
- [23] Бессчетнова Н.Н. Индекс неидентичности в селекционной оценке плюсовых деревьев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. Естественные, технические, экономические науки, 2013. № 07. С. 11–15.
- [24] Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрическая оценка таксономической близости видов ели (*Picea A. Dietr.*) по пигментному составу хвои // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2018. №1(37). С. 5–18.
- [25] Бессчетнова Н.Н., Есичева Н.А. Оценка фотосинтетической способности хвои клонов плюсовых деревьев сосны лапландской (*Pinus silvestris* L. Subsp. *Larponica* Fries.) в условиях Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 123–131.
- [26] Бессчетнова Н.Н., Котынова М.Ю., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Пигментный состав хвои туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в озеленительных посадках г. Нижнего Новгорода // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. междунар. науч.-практ. конференции, Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 132–138.
- [27] Ершов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев ели европейской // Хвойные бореальной зоны, 2017. Т. 36. № 3–4. С. 29–37.
- [28] Ершов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многомерная оценка плюсовых деревьев ели европейской (*Picea abies*) по пигментному составу хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. Вып. 233. С. 78–99.
- [29] Лугинина Л.И., Бессчетнов В.П. Пигментация хвои сеянцев ели обыкновенной (*Picea abies* L.) с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного комплекса: матер. XVIII Междунар. науч.-тех. Интернет-конференции «Лес-2017», Брянск, 1–30 мая 2017 г. Вып. 47. Под ред. Е.А. Памфилова. Брянск: БГИТУ, 2017. С. 131–137.
- [30] 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: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 212–219.
- [31] Есичев А.О. Корреляция признаков пигментного состава хвои представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в дендропарке Сергачского лесничества Нижегородской области // Изв. вузов. Лесной журнал, 2018. № 3. С. 43–53. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43
- [32] Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н. Изменчивость пигментного состава хвои клонов плюсовых деревьев лиственницы Сукачева (*L. Sukaczewii* Djil. spec. nov.) в ассортименте лесосеменных плантаций на примере Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 156–164.
- [33] Бессчетнова Н.Н. Бессчетнов В. П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. 368 с.
- [34] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. 382 с.
- [35] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Ершов П.В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской // Изв. вузов. Лесной журнал, 2019. № 1. С. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63
- [36] Рабинович Е. Фотосинтез. В 3 т. Т. 1. Под ред. проф. Ничипоровича. Москва: Издательство иностранной литературы, 1951. С. 648.

## Сведения об авторах

**Есичев Андрей Олегович** — начальник отдела лесного планирования и цифровизации Министерства лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области, andrey.esichev@mail.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 12.04.2021.

Принята к публикации 14.05.2021.

## HEREDITARY DEPENDENCE OF PIGMENT COMPOSITION IN GENUS LARCH NEEDLES

A.O. Yesichev<sup>1</sup>, N.N. Besschetnova<sup>2</sup>, V.P. Besschetnov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ministry of Forestry and Wildlife Protection Nizhny Novgorod region, 2, Kostina st., 603134, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 97, Gagarin's av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

lesfak@bk.ru

The content and ratio of plastid pigments in the conifers of three species of the larch genus (*Larix* Mill.) were studied: Siberian larch (*L. sibirica* Ledeb.), Gmelin's larch (*L. Gmelinii* (Rupr.) Rupr.), Sukachev's larch (*L. Sukaczewii* Dylis). Their seed progeny is concentrated on a pilot site in the Sergachsky forestry of the Nizhny Novgorod region with geographical coordinates 55°32'14,2" N 45°28'01,0" E and an absolute height of 160 m. The site is assigned to the zone of coniferous-broad-leaved forests (the third forest-growing zone) and is included in the area of coniferous-broad-leaved (mixed) forests of the European part of the Russian Federation. The content of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and carotenoids in the needles was determined by spectrophotometric method at wavelengths: 665 nm, 649 nm, 452,5 nm. Samples for research were prepared in accordance with the principle of a single logical difference and randomized sample formation. Phenotypic differences in the pigment composition of needles between representatives of these species were revealed. The pigment composition of Siberian larch is dominated by chlorophyll *a* ( $3,76 \pm 0,12$  mg/g), significantly less chlorophyll *b* ( $1,87 \pm 0,07$  mg/g) and even less carotenoids ( $0,59 \pm 0,02$  mg/g). The same is observed in the pigment composition of other larch species. The hereditary conditionality of the species specificity of Siberian larch, Gmelin's larch and Sukachev's larch was established for all the tested characteristics. The greatest influence ( $29,84 \pm 1,61$  %) on the formation of the total phenotypic dispersion was observed in the ratio of the content of chlorophyll-a to the content of carotenoids, the least ( $5,89 \pm 2,16$  %) — in the content of dry matter in the needles. Relatively high values were obtained for the proportion of carotenoids ( $26,74 \pm 1,68$  %) and the ratio of their content to the total of chlorophylls ( $26,39 \pm 1,69$  %). The studied species showed an unequal level of similarity or significant differences in the individual characteristics of the pigment composition of needles.

**Keywords:** Larch, pigment composition, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids, species specificity, hereditary conditionality

**Suggested citation:** Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Nasledstvennaya obuslovlennost' pigmentnogo sostava khvoi predstaviteley roda listvennitsa* [Hereditary dependence of pigment composition in genus larch needles]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 5–13.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-5-13

### References

- [1] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Esichev A.O. *Otsenka fiziologicheskogo sostoyaniya predstaviteley roda listvennitsa (Larix Mill.) v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti* [Assessment of the physiological state of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 1, pp. 9–17. DOI: 10.17238/issn 0536-1036. 2018.1.9
- [2] Ulitin M.M., Besschetnov V.P. *Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley lesnykh kul'tur listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica) pri introduktsii v Nizhegorodskoy oblasti* [Comparative assessment of the taxation indicators of forest crops of Siberian larch (*Larix sibirica*) during introduction in the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 6, pp. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41
- [3] Ulitin M.M., Besschetnov V.P., Ornatskiy A.N. *Morfologicheskie pokazateli shishek listvennitsy sibirskoy v polezashchitnykh polosakh Nizhegorodskoy oblasti* [Morphological indicators of Siberian larch cones in the protective strips of the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii: Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii. Nizhny Novgorod, 26 sentyabrya 2019 g.* [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: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 220–225.
- [4] Bonnet-Masimbert M., Pâques L. E., Baldet P., Philippe G. From flowering to artificial pollination in larch for breeding and seed orchard production. *The Forestry Chronicle*, 1998, v. 74, iss. 2, pp. 195–202 DOI:10.5558/tfc74195-2
- [5] Sigurdsson B.D., Magnusson B., Elmarsdottir A., Bjarnadottir B. Biomass and composition of understory vegetation and the forest floor carbon stock across Siberian larch and mountain birch chronosequences in Iceland. *Annals of Forest Science*, 2005, v. 62, no. 8, pp. 881–888. DOI: 10.1051/forest:2005079
- [6] Colas F., Perron M., Tousignant D., Parent C., Pelletier M., Lemay P. A novel approach for the operational production of hybrid larch seeds under northern climatic conditions. *The Forestry Chronicle*, 2008, v. 84, iss. 1, pp. 95–104. DOI: 10.5558/tfc84095-1
- [7] Aniszewska M. Analysis of opening cones of selected coniferous trees. *Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*, 2010, v. 55, pp. 57–64.
- [8] Repáč I., Tučeková A., Sarvašová I., Vencurik J. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season. *J. of Forest Science*, 2011, v. 57, iss. 8, pp. 349–358. DOI: 10.17221/130/2010-JFS
- [9] Danek M., Chuchro M., Walanus A. Variability in Larch (*Larix Decidua* Mill.) Tree-Ring Growth Response to Climate in the Polish Carpathian Mountains. *Forests*, 2017, v. 8, iss. 10, article number 354, pp. 354 (1–22). DOI: 10.3390/f8100354

- [10] Aniszewska M., Gendek A., Zychowicz W. Analysis of Selected Physical Properties of Conifer Cones with Relevance to Energy Production Efficiency. *Forests*, 2018, v. 9, iss. 7, article number 405, pp. 405(1–12). DOI: 10.3390/f9070405
- [11] Markiewicz P. Problems with seed production of European larch in seed orchards in Poland. Seed orchards: Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, 26–28 September 2007. Uppsala, Sweden: Publikationstjänst, 2008, pp. 161–164.
- [12] Mihai G., Teodosiu M. Genetic diversity and breeding of larch (*Larix decidua* Mill.) in Romania. *Annals of Forest Research*, 2009, v. 52, no. 1, pp. 97–108. DOI: 10.15287/afr.2009.126
- [13] Nagaïke T., Hayashi A., Kubo M. Diversity of naturally regenerating tree species in the overstorey layer of *Larix kaempferi* plantations and abandoned broadleaf coppice stands in central Japan. *Forestry: An International J. of Forest Research*, 2010, v. 83, iss. 3, pp. 285–291. DOI: 10.1093/forestry/cpq011
- [14] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: I. The influence of the provenance. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2011, v. 68, no. 1, pp. 474–480.
- [15] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: II. The energy and capacity of germination of seeds. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2011, v. 68, no. 1, pp. 481–487.
- [16] Vilcan A., Taut I., Holonec L., Mihalte L., Sestras R.E. The variability of different larch clone provenances on the response to the attack by its main pests and fungal diseases. *Trees Structure and Function*, 2013, v. 27, no. 3, pp. 697–705. DOI 10.1007/s00468-012-0825-1
- [17] Vilcan A., Mihalte L., Sestras A.F., Holonec L., Sestras R.E. Genetic variation and potential genetic resources of several Romanian larch populations. *Turkish J. of Agriculture & Forestry*, 2017, v. 41, no. 1, pp. 82–91. DOI:10.3906/tar-1610-57
- [18] Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical distribution of foliar biomass in western larch (*Larix occidentalis*). *Canadian J. of Forest Research*, 2018, v. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0299
- [19] Besschetnova N.N. *Spetsifika klonov plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) po sodержaniyu osnovnykh pigmentov v khvoe* [Specificity of clones of plus trees of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) according to the content of basic pigments in conifers]. *Lesnoe khozyaystvo i zelenoe stroitel'stvo v Zapadnoy Sibiri. Mater. III Mezhdunar. internet-seminara. g. Tomsk, 01–31 maya 2007 g.* [Forestry and green construction in Western Siberia. Materials of the III International Internet Seminar: Tomsk, May 01-31, 2007]. Tomsk: Tomsk State University, 2007, pp. 19–24.
- [20] Besschetnova N.N. *Soderzhanie osnovnykh pigmentov v khvoe plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy* [The content of the main pigments in the needles of the plus trees of Scots pine]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 6 (75), pp. 4–10.
- [21] Besschetnova N.N. *Pigmentnyy sostav khvoi plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy v arkhivakh klonov* [Pigmental composition of needles of plus trees of scots pine 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. Nizhny Novgorod]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2011, no. 1 (1), pp. 56–65.
- [22] Besschetnova N.N. *Mnogomernaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) po pokazatelyam pigmentnogo sostava khvoi* [Multivariate evaluation of plus trees of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) according to the indicators of the pigment composition of needles]. *Vestnik MarGTU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Mari State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2013, no. 1 (17), pp. 5–14.
- [23] Besschetnova N.N. *Indeks neidentichnosti v selektsionnoy otsenke plyusovykh derev'ev* [Index of non-identity in the selection evaluation of plus trees]. *Vestnik Saratovskogo GAU im. N.I. Vavilova. Estestvennye, tekhnicheskie, ekonomicheskie nauki* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov. Natural, technical, and economic sciences], 2013, no. 07, pp. 11–15.
- [24] Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Mnogoparametricheskaya otsenka taksonomicheskoy blizosti vidov eli (Picea A. Dietr.) po pigmentnomu sostavu khvoi* [Multiparametric assessment of the taxonomic proximity of spruce species (*Picea A. Dietr.*) by the pigment composition of needles]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2018, no. 1(37), pp. 5–18.
- [25] Besschetnova N.N., Esicheva N.A. *Otsenka fotosinteticheskoy sposobnosti khvoi klonov plyusovykh derev'ev sosny laplandskoy (Pinus silvestris L. Subsp. Lapponica Fries.) v usloviyakh Nizhegorodskoy* [Assessment of the photosynthetic ability of needles of clones of plus trees of the Lapland pine (*Pinus silvestris* L. Subsp. Lapponica Fries.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials international scientific and practical conferences]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 123–131.
- [26] Besschetnova N.N., Kotynova M.Yu., Kentbaeva B.A. *Pigmentnyy sostav khvoi tui zapadnoy (Thuja occidentalis L.) v ozelenitel'nykh posadkakh g. Nizhnego Novgoroda* [Pigment composition of *Thuja occidentalis* L. needles in landscaping plantings in Nizhny Novgorod]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials international scientific and practical conferences]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 132–138.
- [27] Ershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Pigmentnyy sostav khvoi plyusovykh derev'ev eli evropeyskoy* [Pigmentary composition of needles of plus trees of Norway spruce]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2017, t. XXXVI, no. 3–4, pp. 29–37.



- [28] Ershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Mnogomernaya otsenka plyusovykh derev'ev eli evropeyskoy (Picea abies) po pigmentnomu sostavu khvoi* [Multidimensional assessment of plus trees of Norway spruce (*Picea abies*) according to the pigment composition of needles]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2018, v. 233, pp. 78–99.
- [29] Luginina L.I., Besschetnov V.P. *Pigmentatsiya khvoi seyantsev eli obyknovennoy (Picea abies L.) s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Pigmentation of needles of seedlings of common spruce (*Picea abies* L.) with a closed root system]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa: mater. XVIII Mezhdunar. nauch.-tekh. Internet-konferentsii «Les–2017»* [Actual problems of the forest complex: Materials of the XVIII International Scientific and Technical Conference. Internet conferences «Les–2017»]. Bryansk, May 1–30, 2017. Ed. E.A. Pamfilov. Bryansk: BGITU, 2017, iss. 47, pp. 131–137.
- [30] Samoylova L.I., Besschetnov V.P. *Soderzhanie pigmentov v khvoe sosny obyknovennoy (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. Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials international scientific and practical conferences]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 212–219.
- [31] Esichev A.O. *Korrelyatsiya priznakov pigmentnogo sostava khvoi predstaviteley roda listvennitsa (Larix Mill.) v dendroparke Sergachskogo lesnichestva Nizhegorodskoy oblasti* [Correlation of signs of the pigment composition of needles of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) in the arboretum of the Sergachsky forest district of the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2018, no. 3, pp. 43–53. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43
- [32] Esichev A.O., Besschetnova N.N. *Izmenchivost' pigmentnogo sostava khvoi klonov plyusovykh derev'ev listvennitsy Sukacheva (L. Sukaczewii Djil. spec. nov.) v assortimente lesosemennykh plantatsiy na primere Nizhegorodskoy oblasti* [Variability of the pigment composition of needles of clones of Sukachev's larch (*L. Sukaczewii* Djil. spec. nov.) plus trees in the assortment of forest-seed plantations on the example of the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials international scientific and practical conferences]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 156–164.
- [33] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Morfometriya i fiziologiya khvoi plyusovykh derev'ev* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Morphometry and physiology of the needles of plus trees]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2014, 369 p.
- [34] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'ev* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Efficiency of selection of plus trees]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2016, 464 p.
- [35] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Ershov P.V. *Genotipicheskaya obuslovlennost' pigmentnogo sostava khvoi plyusovykh derev'ev eli evropeyskoy* [Genotypic conditionality of the pigment composition of the needles of plus trees of Norway spruce]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2019, no. 1, pp. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63
- [36] Rabinovich E. *Fotosintez* [Photosynthesis]. In 3 v., v. 1. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1951, p. 648.

## Authors' information

**Esichev Andrey Olegovic** — Head of the Department of Forest Planning and Digitalization of the Ministry of Forestry and Wildlife Protection of the Nizhny Novgorod Region, andrey.esichev@mail.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 12.04.2021.

Accepted for publication 14.05.2021.