

В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова, А.Ю. Щербаков

**ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР
ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ
В ОЦЕНКАХ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОИ**

Введение. Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года определен инновационный подход к организации хозяйства в лесах, намечен последовательный переход к интенсивным формам его ведения, обеспечивающим устойчивое и неистощительное лесопользование. Надежность и обоснованность принимаемых в этой связи проектных и управленческих решений во многом базируется на объективной и актуальной информации о важнейших древесных породах, к числу которых с полным основанием можно отнести и ель европейскую (*Picea abies* (L.) Н. Karst.). Имея широкое распространение у нас в стране и за её пределами, она характеризуется значительным разнообразием многочисленных признаков, имеющих хозяйственное, адаптационное и идентификационное значение. В силу указанных обстоятельств ель (*Picea* A. Dietr.) выступает предметом глубоких и разноплановых исследований, активно проводимых в России [Бессчетнова и др., 2017а, б; 2019а, б; Ершов и др., 2017; 2018; Лугинина и др., 2017; Кулькова и др., 2018а, б, в; Бессчетнов и др., 2021] и многих других странах [Hagg et al., 1992; Alexandrov, 2006; Hietz et al., 2008; Gryc et al., 2011; Almqvist, 2012; Lindgren, 2014; Radu et al., 2014]. В перечень рассматриваемых вопросов входят и характеристики пигментного состава хвои, влияющие на эффективность фотосинтеза растений, что в свою очередь определяет их продуктивность, долговечность и устойчивость [Бессчетнова и др., 2019а; Ершов и др., 2017; 2018; Лугинина и др., 2017; Кулькова и др., 2018б; Бессчетнов и др., 2021]. Содержание пигментов в хвое находится под выраженным контролем со стороны генотипа [Бессчетнова и др., 2014; 2019а; Бессчетнова, 2016]. На территории Нижегородской области ель европейская формирует естественные насаждения, входит в состав лесных культур, защитных полос, используется в озеленении [Алехин, 1935; Аверкиев, 1954; Полуяхтов, 1974; Куприянов и др., 1995], и играет важную роль в экономике региона.

Цель исследований – установить степень таксономической близости в характеристиках пигментного состава хвои представителей разных попу-

ляций ели европейской в составе географических культур на территории Нижегородской области.

Объектом исследования служили географические культуры ели европейской, созданные в 1978 г. и расположенные согласно современному хозяйственно-административному делению территорий в границах Сергачского межрайонного лесничества Нижегородской области с координатами местности 55°32'14.2"N; 45°28'01.0"E и абсолютной высотой 160 м. Территория участка отнесена к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации, который входит в зону хвойно-широколиственных лесов (третья лесорастительная зона). По лесосеменному районированию она включена в четвертый район для ели. Сложившиеся здесь лесорастительные условия вполне благоприятны для произрастания ели европейской. В составе обследованных культур представлены 11 естественных популяций ели европейской, различающихся своим географическим происхождением. Как варианты опыта они получили обозначения, соответствующие официальным названиям существовавших на момент заготовки семян для создания географических культур областей, союзных и автономных республик бывшего СССР: Ленинградская; Вологодская; Могилевская; Псковская; Литовская; Львовская; Московская; Архангельская; Карельская; Калининградская; Костромская. Каждое происхождение на лесокультурной площади представлено в двукратной повторности с рендомизированным размещением рядов. При отборе биологических проб выделяли типичные учетные деревья, число которых в соответствии с сохранностью по вариантам опыта составило 6 – 63 шт. Побег для последующего анализа хвои срезали одновременно с периферии наиболее полно освещенного участка кроны. Всего заготовлено 368 образцов.

Методика исследований обеспечивала соблюдение принципа единственного логического различия и основных требований к организации опыта и предусматривала проведение натурных исследований и лабораторных анализов. Содержания пластидных пигментов определяли спектрофотометрическим методом согласно общепринятым схемам [Максимов, 1978; Третьяков и др., 1990; Lichtentaller et al., 1983; Lichtentaller, 1987; 2001; 2009; Porra et al., 1989; Wellburn, 1994; Rosenthal et al., 1997; Miazek et al., 2013]. Использован спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4] для построения на мониторе компьютера спектров поглощения, по которым вели отсчет при длинах волн: 663 нм (хлорофилл-*a*); 645 нм (хлорофилл-*b*); 440 нм (каротиноиды). Экстрагентом выступал 96-процентный раствор этанола. Концентрации пигментов в пересчете на абсолютно сухое ве-

щество находили по уравнениям Ветштейна и Хольма [Максимов, 1978; Третьяков и др., 1990]. С учетом апробированных методик фиксировали содержание хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b*, каротиноидов, их суммарное количество, а также соотношение между ними и долю в пигментном составе хвои [Бессчетнова, 2007; 2010; 2011; 2013а, б; 2016; Бессчетнова и др., 2014; 2019в, г; Есичев и др., 2019; Самойлова и др., 2019]. Такой организационно-методический подход традиционен и реализуется достаточно широко [Рабинович, 1951; Lichtentaller, 1987; 2009; Houpis et al., 1988; Rosenthal et al., 1997]. Вычисление описательных статистик, выполнение факторного и кластерного анализа проводили согласно существующим рекомендациям [Никитин и др., 1978; Бондаренко и др., 2016; Mason et al., 2003; Srinagesh, 2005; Hinkelmann et al., 2008; Dean et al., 2017], в том числе, адаптированным к исследованиям пигментного состава хвои [Бессчетнова, 2013а; Ершов и др., 2018; Кулькова и др., 2018а, б].

Результаты и обсуждение. Представители популяций ели из значительно удаленных друг от друга частей её ареала в составе географических культур демонстрировали различия в многочисленных показателях пигментного состава однолетней хвои (рис. 1–4).

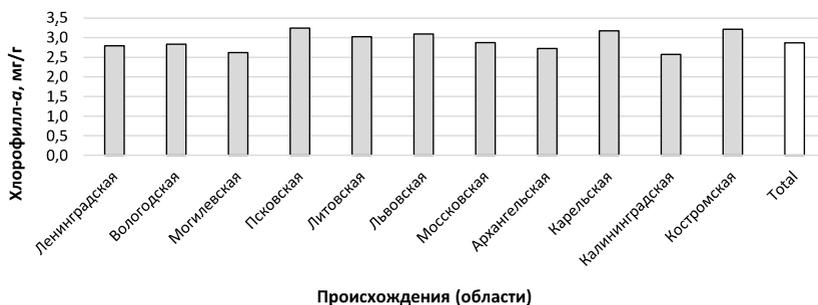


Рис. 1. Содержание хлорофилла-*a* в хвое ели европейской
 Fig. 1. The content of chlorophyll-*a* in the Norway spruce needles

Наибольшее содержание хлорофилла-*a* ($3,26 \pm 0,06$ мг/г), отмеченное у семенного потомства популяций из Псковской области в 1,26 раза, превосходило соответствующий минимум ($2,57 \pm 0,04$ мг/г), зафиксированный у представителей популяций из Калининградской области (см. рис. 1). По хлорофиллу-*b* (см. рис. 2) масштабы соотношения оценок содержания данного пигмента весьма сходные, притом что максимальные значения ($1,37 \pm 0,05$ мг/г и $1,37 \pm 0,06$ мг/г) наблюдались у происхождений из Ко-

стромской и Карельской областей, а минимальные ($1,07 \pm 0,03$ мг/г и $1,09 \pm 0,03$ мг/г) – у представителей популяций из Архангельской и Калининградской областей.

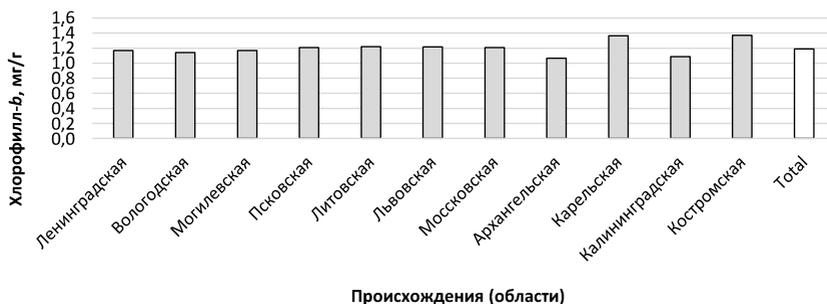


Рис. 2. Содержание хлорофилла-*b* в хвое ели европейской
 Fig. 2. The content of chlorophyll-*b* in the Norway spruce needles

В содержании каротиноидов наблюдалась иная ситуация (см. рис. 3), и максимум их концентрации ($0,44 \pm 0,02$ мг/г) фиксировался в хвое представителей костромских популяций, в то время как наименьшие оценки ($0,32 \pm 0,01$ мг/г) были присущи происхождениям из Могилевской и Архангельской областей.

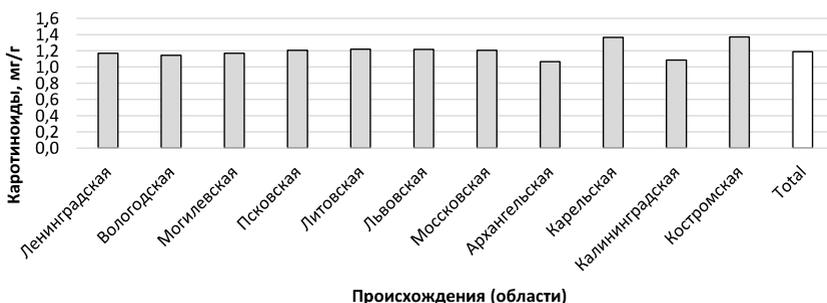


Рис. 3. Содержание каротиноидов в хвое ели европейской
 Fig. 3. The content of carotenoids in the Norway spruce needles

Выступающее важной характеристикой фотосинтезирующего аппарата отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию хлорофилла-*b* в хвое ели европейской оказалось достаточно выровненным в своих оценках (см. рис. 4). Его максимум ($2,71 \pm 0,11$) в хвое популяций из Псковской области лишь в 1,18 раза превысил соответствующий минимум ($2,29 \pm 0,05$), уста-

новленный у ели из Могилевской области. Полученный в указанном порядке материал статистически надежен: t-критерии Стьюдента на 5-процентном уровне значимости во много раз превосходили минимально допустимый предел, а относительные ошибки в подавляющем большинстве случаев были меньше 5%.

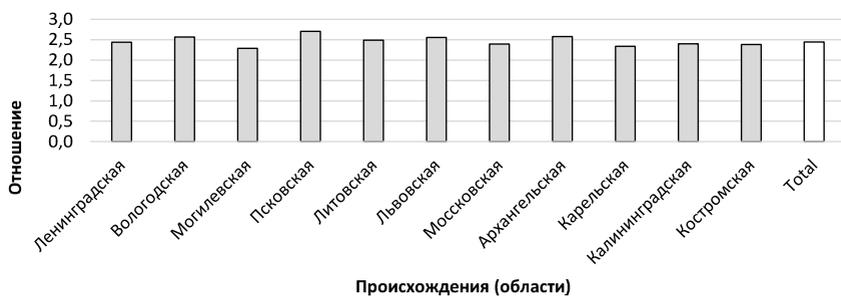


Рис. 4. Отношение содержания хлорофилла-а к содержанию хлорофилла-б в хвое ели европейской

Fig. 4. The ratio of the content of chlorophyll-a to the content of chlorophyll-b in the Norway spruce needles

Поскольку отмеченные выше фенотипические различия между популяциями ели европейской проявились на выровненном экофоне единого участка географических культур, есть достаточно оснований для признания причиной их возникновения разницу в происхождении. Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил существенность указанных различий по всем рассматриваемым показателям пигментного состава. Расчетные критерии Фишера были заметно выше пороговых величин ($F_{05} = 1,86$): от 3,94 (по доле в пигментном составе хлорофилла-а и хлорофилла-б) до 10,92 (по содержанию каротиноидов).

Проведенный с помощью метода главных компонент факторный анализ показателей пигментного состава хвои представителей разных популяций ели европейской, введенных в состав географических культур, позволил сгруппировать 12 признаков содержания и соотношения пластидных пигментов в 3 главные компоненты (табл. 1). Характер отнесения исходных переменных (признаков пигментного состава хвои) к трем независимым комплексным факторам (компонентам) вполне логичен. Первую компоненту составили относительные признаки, связанные с наличием в хвое каротино-

идов и устанавливающие соотношение между ними и зелеными пигментами: отношение хлорофилла-*a* к каротиноидам; отношение хлорофилл-*b* к каротиноидам; доля каротиноидов в пигментном составе хвои как их отношение к общей сумме пигментов; отношение содержания каротиноидов к сумме хлорофиллов. Во вторую компоненту вошли индивидуальные и суммарные оценки содержания пластидных пигментов: содержание хлорофилла-*a*; содержание хлорофилл-*b*; суммарное содержание хлорофилла; содержание каротиноидов; общая сумма пигментов. Третья компонента объединила оценки соотношения между хлорофиллом-*a* и хлорофиллом-*b*: отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию хлорофилла-*b*; доля хлорофилла-*a* в пигментном составе; доля хлорофилла-*b* в пигментном составе.

Таблица 1

Формирование главных компонент признаков пигментного состава хвои ели европейской в географических культурах

Formation of the principal components of the features of the pigment composition of the needles of Norway spruce in geographical cultures

Признаки пигментного состава однолетней хвои ели, показатели факторного анализа	Главные компоненты		
	первая	вторая	третья
Содержание хлорофилла- <i>a</i> (<i>a</i>)	–	0,954	–
Содержание хлорофилла- <i>b</i> (<i>b</i>)	–	0,938	–
Суммарное содержание форм хлорофилла (<i>a+b</i>)	–	0,992	–
Содержание каротиноидов (<i>k</i>)	–	0,714	–
Отношение содержания хлорофиллов (<i>a/b</i>)	–	–	0,964
Отношение хлорофилла- <i>a</i> к каротиноидам (<i>a/k</i>)	–0,956	–	–
Отношение хлорофилл- <i>b</i> к каротиноидам (<i>b/k</i>)	–0,956	–	–
Доля хлорофилла- <i>a</i> в пигментном составе	–	–	0,970
Доля хлорофилла- <i>b</i> в пигментном составе	–	–	–0,970
Доля каротиноидов $k/(a+b+k)$ в пигментном составе	0,984	–	–
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов $k/(a+b)$	0,983	–	–
Общая сумма пигментов (<i>a+b+k</i>)	–	0,996	–
Начальные собственные значения компонент	5,582	4,337	2,045
Доля дисперсии главных компонент, %	46,517	36,144	17,038
Общая доля дисперсии главных компонент, %	99,699		

Корректность выполненной редукции количества переменных обоснована высокой долей общей дисперсии, приходящейся на 3 главные компоненты – 99,699%, что значительно выше принятого для этих случаев критического порога в 70%. У этих компонент величина нагрузки фактора превышает принятый минимальный уровень начальных собственных значений, равный 1. Они образовали собственный блок многомерных характеристик сравнимых географических происхождений ели европейской, которые служили основой проведения кластерного анализа (табл. 2, 3) и построения дендрограмм (рис. 5, 6).

В структуре дендрограммы (см. рис. 5) удастся обнаружить три хорошо обособленных кластера с примерно одинаковой плотностью, но различающихся численностью. Первый составлен из происхождений западноевропейской части ареала вида на территории бывшего СССР и представлен популяциями, размещенными на территории Литвы и ряда современных административных областей Российской Федерации и Украины: Львовской, Псковской и Карельской.

Таблица 2

Кластеризация популяций ели европейской по нормированным значениям 12 признаков пигментного состава хвои

Clustering of populations of Norway spruce by normalized values of 12 signs of the pigment composition of needles

Шаги агломерации			Коэффициенты		Этапы появления первого кластера		Новый этап
этап	кластеры		дистанция примыкания	единицы масштаба	кластер 1	кластер 2	
	первый	второй					
1	5	6	1,848	1,237	0	0	5
2	2	8	2,274	1,522	0	0	7
3	1	10	5,136	3,438	0	0	4
4	1	3	6,945	4,649	3	0	7
5	4	5	9,276	6,209	0	1	8
6	7	11	11,680	7,818	0	0	10
7	1	2	11,782	7,886	4	2	9
8	4	9	16,923	11,328	5	0	9
9	1	4	23,645	15,828	7	8	10
10	1	7	37,348	25,000	9	6	0

Он сложился в границах евклидовых дистанций от 1,237 единицы масштаба 25-разрядной шкалы (между Литовской и Львовской популяциями) до 11,328 ед. на этапе примыкания к этому кластеру Карельской популяции. При этом она в большей степени отличается от других группировок, вошедших в состав данного кластера, что указывает на возможную специфику её формирования.

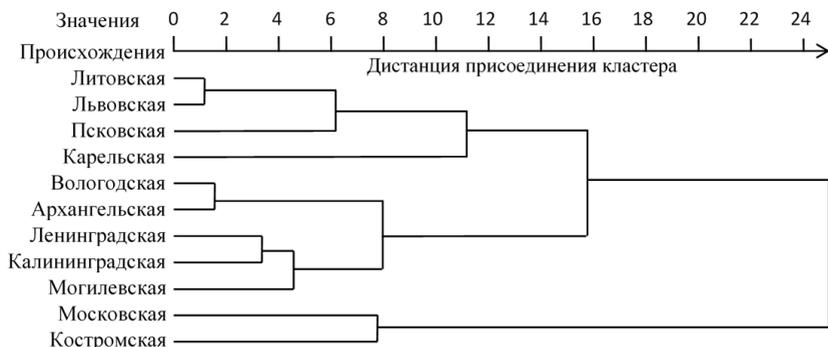


Рис. 5. Дендрограмма сходства популяций ели европейской по 12 признакам пигментного состава хвои в географических культурах

Fig. 5. Dendrogram of similarity of populations of Norway spruce by 12 signs of the pigment composition of needles in geographical cultures

В центральной части дендрограммы расположен второй наиболее крупный по численности и плотный по сложению кластер, объединивший популяции из сравнительно близко расположенных в территориальном отношении Вологодской, Архангельской, Ленинградской и Калининградской областей. Шаги его агломерации ограничены пределами от 1,522 ед. до 7,886 ед. В нем Вологодская и Архангельская популяции сравнительно близко расположены в многомерном пространстве признаков, демонстрируя сходство между собой по наибольшему количеству анализируемых показателей и отличие по ним от других элементов данной группировки. На уровне 15,828 единицы евклидовых дистанций второй кластер присоединяется к первому. В третий кластер вошли только две популяции – из Московской и Костромской областей. Дистанция их слияния составила 7,818 ед., что делает указанную группировку наименее плотной. Она входит в общую иерархическую систему с дистанцией в 25 ед. В целом, по своему сложению возникшие группировки можно признать сравнительно сходны-

ми, поскольку коэффициенты плотности кластера (средняя евклидова дистанция его сложения) каждой их них составили: 6,258 ед. (у первой); 4,374 ед. (у второй); 7,818 ед. (у третьей) и 6,150 ед. (общая средняя дистанция). Среднее межкластерное расстояние при этом достигло 20,414 единицы 25-разрядной шкалы масштаба евклидовых дистанций, что принципиально больше величин внутрикластерных дистанций, и может служить основанием для признания корректным выделение кластеров и уверенным – оформление их границ.

Таблица 3

Кластеризация популяций ели европейской по 3 главным компонентам пигментного состава хвои

Clustering of populations of Norway spruce by 3 principal components of the pigment composition of needles

Шаги агломерации			Коэффициенты		Этапы появления первого кластера		Новый этап
этап	кластеры		дистанция примыкания	единицы масштаба	кластер 1	кластер 2	
	первый	второй					
1	5	6	0,380	1,134	0	0	6
2	1	2	0,720	2,151	0	0	3
3	1	8	1,400	4,180	2	0	4
4	1	10	1,982	5,919	3	0	7
5	7	11	2,928	8,745	0	0	10
6	5	9	3,360	10,035	1	0	8
7	1	3	4,640	13,860	4	0	8
8	1	5	5,462	16,313	7	6	9
9	1	4	7,418	22,157	8	0	10
10	1	7	8,370	25,000	9	5	0

Процедура кластеризации с использованием главных компонент привела к сопоставим по логике и численным выражениям результатам (см. табл. 3, рис. 6). Притом что дендрограмма носила свои отличительные черты, в её структуре удалось заметить ряд устойчиво сохранившихся при повторении анализа группировок (см. рис. 6).



Рис. 6. Дендрограмма сходства популяций ели европейской по 3 главным компонентам пигментного состава хвои в географических культурах

Fig. 6. Dendrogram of similarity of populations of Norway spruce by 3 principal components of the pigment composition of needles in geographical cultures

Элементы испытательных культур, представляющие Литовскую, Львовскую и Карельскую популяции, как и в первом случае, вошли в состав одного кластера, в котором представители карельской популяции, как и ранее, демонстрировали большую обособленность от других. Второй кластер количественно сохранил свой состав при некотором изменении порядка вхождения в него каждого из элементов. Третий, состоящий из представителей популяций Московской и Костромской областей, также сумел сохранить свои позиции, подтвердив отдаленность от всех остальных и показав максимум евклидовых расстояний при интеграции в единую систему – 25 ед. Основное отличие данной дендрограммы от предыдущей связано изменением местоположения псковской популяции, которая, не войдя в состав какого-либо из ранее сформированных кластеров, заняла отдельную позицию с весьма значительной дистанцией присоединения в 22,157 ед.

Выводы. 1. Материалы, полученные в процессе проведения факторного и кластерного анализа, свидетельствуют о стабильности итогов многомерных сравнений, выполненных в комплексе популяций ели европейской, введенных в состав географических культур на территории Нижегородской области. На этом основании можно говорить об устойчивом характере выявленных тенденций в соотношении популяций ели европейской, имеющих различное географическое происхождение, по одному из важных биологических показателей – пигментному составу хвои.

2. Сведения о соотношении популяционных оценок пигментного состава хвои ели европейской в географических культурах на территории Нижегородской области позволят более детально описать степень биологической близости её популяций и уровень их адаптированности к лесорастительным условиям региона. Такая информация может выступать основанием для внесения предложений по уточнению границ лесосеменных районов и определению векторов возможной переборки семян этой древесной породы.

Библиографический список

Аверкиев Д.С. История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Ученые записки Горьковского университета. 1954. Вып. XXXV. С. 119–136.

Алехин В.В. Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000). Ленинград – Горький: Горьковский государственный университет – 1 картографическая фабрика ВКТ (тип. 1 картогр. фабрики ВКТ). 1935. 67 с.

Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Щербаков А.Ю. Пигментный состав хвои ели европейской (*Picea abies*) в географических культурах // Хвойные боральной зоны. 2021. Т. XXXIX. № 3. С. 161–166.

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.

Бессчетнова Н.Н. Индекс неидентичности в селекционной оценке плюсовых деревьев // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. Естественные, технические, экономические науки. 2013б. № 07. С. 11–15.

Бессчетнова Н.Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по показателям пигментного состава хвои // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2013а. № 1 (17). С. 5–14.

Бессчетнова Н.Н. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов // Труды факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии: сборник научных статей. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. 2011. № 1 (1). С. 56–65.

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.

Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев: монография. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. 464 с.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев: монография. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. 368 с.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Еришов П.В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской // ИВУЗ. Лесной журнал. 2019а. № 1. С. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Широков А.И. Корреляция содержания крахмала в тканях побегов представителей рода ель (*Pinus* a. Dietr.) // Вестник Казанского государственного аграрного университета. Научный журнал. 2018в. № 2 (49). С. 19–22. DOI: 10.12737/article_5b34ff5f201623.29401443.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Храмова О.Ю., Дорожжина Л.А. Стимулирующий эффект препарата ЭкоФус в предпосевной обработке семян ели европейской (*Pinus abies* (L.) N. Karst.) // Агрехимический вестник. 2017б. № 2. С. 41–44.

Бессчетнова Н.Н., Есичева Н.А. Оценка фотосинтетической способности хвои клонов плюсовых деревьев сосны лапландской (*Pinus silvestris* L. Subsp. *Larronica* Fries.) в условиях Нижегородской // 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 ГСХА, 2019в. С. 123–131.

Бессчетнова Н.Н., Котынова М.Ю., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Пигментный состав хвои туи западной (*Tuja 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. конф.: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2019. С. 132–138.

Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В. Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода ель (*Pinus* L.) в условиях Нижегородской области // ИВУЗ. Лесной журнал. 2019б. № 6. С. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52.

Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований: учеб. пособие. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 125 с.

Еришов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многомерная оценка плюсовых деревьев ели европейской (*Pinus abies*) по пигментному составу хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Выпуск 233. С. 78–99.

Ершов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев ели европейской // Хвойные бореальной зоны. 2017. Т. XXXVI. № 3–4. С. 29–37.

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 общ. ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2019. С. 156–164.

Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*) // ИВУЗ. Лесной журнал. 2018а. № 6. С. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23.

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. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2018б. № 1(37). С. 5–18.

Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea* A. Dietr.) в условиях интродукции // Лесной журнал. 2017а. № 4. С. 57–68. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.

Куприянов Н.В., Веретенников С.С., Шишов В.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области. Нижний Новгород: Волго-Вятское книжное издательство, 1995. 349 с.

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.-техн. Интернет-конф. «Лес-2017»: Брянск, 1-30 мая 2017 г. / под общ. ред. Е.А. Памфилова: сб. науч. тр. Вып. 47. Брянск: БГИТУ, 2017. С. 131–137.

Максимов Г.Л. Методы биохимического анализа растений. Л.: Изд-во Ленинградского государственного университета, 1978. 192 с.

Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесная пром-сть, 1978. 272 с.

Полухатов К.К. Лесорастительное районирование Горьковской области // Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья. – Горький: ГГУ, 1974. С.4–20.

Рабинович Е. Фотосинтез. В 3 т, Т. 1 / пер. с англ.; под ред. проф. Ничипорича. М.: Издательство иностранной литературы, 1951. С. 648.

Самойлова Л.И., Бессчетнов В.П. Содержание пигментов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выращенной по различным технологиям в Респуб-

лике 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 ГСХА, 2019. С. 212–219.

Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. Практикум по физиологии растений: учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений / под общ. ред. Н.Н. Третьякова. 3-е изд-е, перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.

Alexandrov A. Structure of the populations and growth of the progeny of representative populations of *Picea abies* (L.) Karsten in the Rila Mountain // *Forest Science*. 2006. Vol. 55, iss. 60. P. 190–191.

Almqvist C. Possibilities to Use GA4/7 for Flower Stimulation in Seed Orchards in Sweden and the Rest of EU // *Seed Orchards and Breeding Theory Conference: 21-25 May, 2012 – Antalya, Turkey. Proceedings*. Isparta-Turkey: Forestry Faculty of Suleyman Demirel University, 2012. P. 45–45.

Dean A., Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017. 865 p.

Gryc V., Vavrčik H., Horn K. Density of juvenile and mature wood of selected coniferous species // *Journal of Forest Science*. 2011. Vol. 57, iss. 3. P. 123–130.

Hagg C., Stober F., Lichtenthaler H.K. Pigment content, chlorophyll fluorescence and photosynthetic activity of spruce clones under normal and limited mineral nutrition // *Photosynthetica*. 1992. Vol. 27, iss. 3. Pp. 385–400.

Hietz P., Rosner S., Sorz J., Mayr S. Comparison of methods to quantify loss of hydraulic conductivity in Norway spruce // *Annals of Forest Science*. 2008. Vol. 65, no. 1, Article Number 502. P. 502p1–502p7. DOI: 10.1051/forest/2008023.

Hinkelmann K., Kempthorne O. Design and Analysis of Experiments, Volume 1: Introduction to Experimental. 2nd edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2008. 631 p.

Houpis J.L.J., Surano K.A., Cowles S., Shinn J.H. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide // *Tree Physiology*. 1988. Vol. 4, iss. 2. P. 187–193.

Lichtenthaler H.K. Chlorophyll a and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // *Methods in Enzymology. Plant Cell Membranes*. 1987. Vol. 148: P. 350–382.

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. Vol. 3, no. 3. P. 81–94.

Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy / Contributed by Hartmut K. Lichtenthaler and Claus

Buschmann // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. UNIT F4.3. P. F4.3.1–F4.3.

Lichtenthaller H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents // Biochemical Society Transactions. 1983. Vol. 11, no. 6. P. 591–592.

Lindgren D. Seed orchards and supporting breeding // Forest Tree Breeding. Conference 2 August 25-29, 2014, Prague, Czech Republic. Book of Abstracts. Prague: Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences. 2014. P. 3–3.

Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.

Miazek K., Ledakowicz S. Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: A kinetic approach. // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2013. Vol. 6, no. 2. P. 107–115.

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. Vol. 975. P. 384–394.

Radu R.G., Curtu L.A., Spârchez G., Șofletea N. Genetic diversity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in Romanian Carpathians // Annals of Forest Research. 2014. Vol. 57, iss. 1. P. 19–29. DOI: 10.15287/art2014.178.

Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*) // Tree Physiology. 1997. Vol. 17, iss. 12. P. 767–775.

Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.

Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution // Journal of plant physiology. 1994. Vol. 144, iss. 3. P. 307–313.

Reference

Alexandrov A. Structure of the populations and growth of the progeny of representative populations of *Picea abies* (L.) Karsten in the Rila Mountain. *Forest Science*, 2006, vol. 55, iss. 60, pp. 190–191.

Almqvist C. Possibilities to Use GA4/7 for Flower Stimulation in Seed Orchards in Sweden and the Rest of EU. *Seed Orchards and Breeding Theory Conference*: 21–25 May, 2012 – Antalya, Turkey. Proceedings. Isparta-Turkey: Forestry Faculty of Suleyman Demirel University, 2012, pp. 45–45.

Alyokhin V.V. Explanatory note to geobotanical maps (modern and restored) of the former Nizhny Novgorod province (on a scale of 1:500.000). Leningrad – Gorky: Gorky State University-1 cartographic factory of the CGT (type 1 cartographic factory of the CGT). 1935. 67 p. (In Russ.)

Averkiev D.S. The history of the development of the vegetation cover of the Gorky region and its botanical and geographical division. *Scientific notes of the Gorky University*, 1954, iss. XXXV, pp. 119–136. (In Russ.)

Beschetnova N.N. Specificity of clones of plus trees of the common pine (*Pinus sylvestris* L.) according to the content of basic pigments in conifers. *Forestry and green construction in Western Siberia*: mater. of the III International Internet Seminar: Tomsk, May 01–31, 2007. Tomsk: Tomsk State University, 2007, pp. 19–24. (In Russ.)

Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Shcherbakov A.Y. Pigment composition of needles of Norway spruce (*Picea abies*) in geographical cultures. *Coniferous of boreal zone*, 2021, vol. XXXIX, no. 3, pp. 161–166. (In Russ.)

Besschetnova N. N., Kotynova M. Yu., Kentbaev E. Zh., Kentbayeva B. A. Pigment composition of Western thuja needles (*Thuja occidentalis* L.) in landscaping plantings of Nizhny Novgorod. *Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus*: mater. of the international scientific and practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / under the general editorship of N. N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 132–138. (In Russ.)

Besschetnova N. N., Kulkova A.V. Content of spare nutrients in tissue cells of annual shoots of representatives of the genus spruce (*Picea* L.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region. *IVUZ. Lesnoy zhurnal [Russian Forestry Journal]*, 2019, no. 6, pp. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52. (In Russ.)

Besschetnova N.N. Index of non-identity in the selection assessment of plus trees. *Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Natural, technical, and economic sciences*, 2013b, no. 07, pp. 11–15. (In Russ.)

Besschetnova N.N. Multivariate assessment of positive trees of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) according to the indicators of the pigment composition of needles. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2013a, no. 1 (17), pp. 5–14. (In Russ.)

Besschetnova N.N. Pigment composition of the needles of the plus trees of Scots pine in the archives of clones. *Proceedings of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy: A collection of scientific articles*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2011, no. 1 (1), pp. 56–65. (In Russ.)

Besschetnova N.N. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The effectiveness of the selection of plus trees: A monograph. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2016. 464 p. (In Russ.)

Besschetnova N.N. The content of the main pigments in the needles of the plus trees of Scots pine. *Bulletin of the Moscow State University of Forests – Lesnoy Vestnik / Forestry Bulletin*, 2010, no. 6. (75), pp. 4–10. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Morphometry and physiology of the needles of plus trees: Monograph. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2014. 368 p. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Khranova O.Yu., Dorozhkina L.A. Stimulating effect of Ecofus preparation in pre-sowing treatment of European spruce seeds (*Picea abies* (L.) H. Karst.). *Agrochemical Bulletin*, 2017, no. 2, pp. 41–44. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kulkova A.V., Mishukova I.V. Starch content in the tissues of shoots of different types of spruce (*Picea A.* Dietr.) under the introduction conditions. *IVUZ. Lesnoj zhurnal. [Russian Forestry Journal]*, 2017, no. 4, pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Yershov P.V. Genotypic conditionality of the pigment composition of the needles of plus trees of European spruce. *IVUZ. Lesnoj zhurnal. [Russian Forestry Journal]*, 2019, no. 1, pp. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Yesicheva N.A. Assessment of the photosynthetic ability of needles of clones of plus trees of the Lapland pine (*Pinus sylvestris* L. Subsp. *Lapponica* Fries.) in the conditions of the Nizhny Novgorod. *Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: mater. of the international scientific and practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / under the general editorship of N.N. Besschetnova*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 123–131. (In Russ.)

Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. Statistical processing of materials of silvicultural research: a Training manual. Saint Petersburg: Polytechnic University Press, 2016. 125 p. (In Russ.)

Dean A., Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017. 865 p.

Gryc V., Vavrčik H., Horn K. Density of juvenile and mature wood of selected coniferous species. *Journal of Forest Science*, 2011, vol. 57, iss. 3, pp 123–130.

Hagg C., Stober F., Lichtenthaler H.K. Pigment content, chlorophyll fluorescence and photosynthetic activity of spruce clones under normal and limited mineral nutrition. *Photosynthetica*, 1992, vol. 27, iss. 3, pp. 385–400.

Hietz P., Rosner S., Sorz J., Mayr S. Comparison of methods to quantify loss of hydraulic conductivity in Norway spruce. *Annals of Forest Science*, 2008, vol. 65, no. 1, Article Number 502, pp. 502p1–502p7. DOI: 10.1051/forest/2008023.

Hinkelmann K., Kempthorne O. Design and Analysis of Experiments, Vol. 1: Introduction to Experimental. 2nd edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2008. 631 p.

Houpis J.L.J., Surano K.A., Cowles S., Shinn J.H. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide. *Tree Physiology*, 1988, vol. 4, iss. 2, pp. 187–193.

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multiparametric analysis in the assessment of species specificity of representatives of the genus spruce (*Picea*). *IVUZ. Lesnoy zhurnal [Russian Forestry Journal]*, 2018a, no. 6, pp. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23. (In Russ.)

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multiparametric assessment of taxonomic proximity of spruce species (*Picea* A. Dietr.) by the pigment composition of needles. *Bulletin of the Volga state technological University. Series: The Forest. Ecology. Nature management*, 2018b, no. 1 (37), pp. 5–18. (In Russ.)

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Shirokov A.I. Correlation of starch content in the tissues of shoots of representatives of the genus spruce (*Picea* A. Dietr.). *Bulletin of the Kazan state agrarian University. Scientific journal*, 2018, no. 2 (49), pp. 19–22. DOI: 10.12737/article_5b34ff5f201623_29401443. (In Russ.)

Kupriyanov N.V., Veretennikov S.S., Shishov V.V. Forests and forestry of the Nizhny Novgorod region. Nizhny Novgorod: Volga-Vyatka Book Publishing House. 1995. 349 p. (In Russ.)

Lichtenthaler H.K. Chlorophyll a and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology. Plant Cell Membranes*, 1987, vol. 148, pp. 350–382.

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, vol. 3, no. 3, pp. 81–94.

Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy / Contributed by Hartmut K. Lichtenthaler and Claus Buschmann. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 2001. UNIT F4.3, pp. F4.3.1–F4.3.

Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1983, vol. 11, no. 6, pp. 591–592.

Lindgren D. Seed orchards and supporting breeding. *Forest Tree Breeding*. Conference 2 August 25–29, 2014, Prague, Czech Republic. Book of Abstracts. Prague: Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences, 2014, pp. 3–3.

Luginina L.I., Besschetnov V.P. Pigmentation of needles of seedlings of spruce (*Picea abies* L.) with a closed root system. *Actual problems of the forest complex: mater. of the XVIII international scientific and technical Internet conference «Forest-2017»*: Bryansk, may 1-30, 2017 Under the General editorship of E.A. Pamfilov. Collection of proceedings. Iss. 47. Bryansk: BSTU, 2017, pp. 131–137. (In Russ.)

Maksimov G.L. Methods of biochemical analysis of plants. L.: Leningrad State University Publishing House, 1978. 192 p. (In Russ.)

Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken,

New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.

Miazek K., Ledakowicz S. Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: A kinetic approach. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 107–115.

Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. Methods and techniques of processing forestry information. Moscow: Forest industry. 1978. 272 p. (In Russ.)

Poluyakhtov K.K. Forest-growing zoning of the Gorky region. *Biological bases of increasing productivity and protection of forest, meadow and aquatic phytocenoses of the Gorky Volga region*. Gorky: GSU, 1974, pp. 4–20. (In Russ.)

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, vol. 975, pp. 384–394.

Rabinovich E. Photosynthesis. In three volumes, Vol. 1. Translated from English. Edited by Prof. Nichiporovich. Moscow: Publishing House of Foreign Literature. 1951. 648 p. (In Russ.)

Radu R.G., Curtu L.A., Spârchez G., Șofletea N. Genetic diversity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in Romanian Carpathians. *Annals of Forest Research*, 2014, vol. 57, iss. 1, pp. 19–29. DOI: 10.15287/art2014.178.

Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*). *Tree Physiology*, 1997, vol. 17, iss. 12, pp. 767–775.

Samoylova L.I., Besschetnov V.P. The content of pigments in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown using various technologies in the Republic of Tatarstan. *Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: mater. of the international scientific and practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / under the general editorship of N.N. Besschetnova*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 212–219. (In Russ.)

Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.

Tretyakov N.N., Karnaukhova T.V., Panichkin L.A. Practicum on plant physiology: Textbooks and manuals for students of higher educational institutions / Under the general editorship of N.N. Tretyakov. 3rd edition, revised and supplemented. Moscow: Agropromizdat, 1990. 271 p. (In Russ.)

Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of plant physiology*, 1994, vol. 144, iss. 3, pp. 307–313.

Yershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multivariate estimation of European spruce (*Picea abies*) plus trees by the pigment composition of needles. *Proceedings of the Saint Petersburg forestry Academy*, 2018, iss. 233, pp. 78–99. (In Russ.)

Yershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Pigment composition of needles of plus trees of European spruce. *Coniferous of boreal zone*, 2017, vol. XXXVI, no. 3-4, pp. 29–37. (In Russ.)

Yesichev A.O., Besschetnova N.N. Variability of the pigment composition of needles of clones of positive trees of Sukachev larch (*L. Sukaczewii* Djil. spec. nov.) in the assortment of forest-seed plantations on the example of the Nizhny Novgorod region. *Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: mater. of the international scientific and practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / under the general editorship of N.N. Besschetnova.* Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 156–164. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 22.06.2021

Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Щербаков А.Ю. Популяционная структура географических культур ели европейской в оценках пигментного состава хвои // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 109–130. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.109-130*

Изучали содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое представителей разных популяций ели европейской, введенных в состав географических культур на территории Нижегородской области. Применяли спектрофотометрический метод выявления количественных оценок пигментного состава листового аппарата с обеспечением принципа единственного логического различия и основных требований к организации опыта. Проведены натурные обследования насаждений и лабораторные анализы биологических проб. Выявлены различия между представителями удаленных друг от друга популяций ели европейской при их совместном выращивании в составе географических культур по комплексу показателей пигментного состава однолетней хвои. Наибольшее содержание хлорофилла-*a* ($3,25 \pm 0,06$ мг/г) отмечено у семенного потомства популяций из Псковской области, что в 1,26 раза превосходит соответствующий минимум ($2,57 \pm 0,04$ мг/г), зафиксированный у представителей популяций из Калининградской области. Зафиксированы сходные масштабы соотношения оценок содержания хлорофилла-*b*, притом что максимальные значения ($1,37 \pm 0,05$ мг/г и $1,37 \pm 0,06$ мг/г) наблюдались у происхождений из Костромской и Карельской областей, а минимальные ($1,07 \pm 0,03$ мг/г и $1,09 \pm 0,03$ мг/г) – у представителей популяций из Архангельской и Калининградской областей. Подтверждена существенность различий между популяциями ели европейской по всем

рассматриваемым показателям пигментного состава. Обнаружено сходство в сложении трех группировок популяций, возникших при выполнении факторного и кластерного анализа. Коэффициенты плотности кластера (средняя евклидова дистанция его сложения) каждой из них составили: 6,258 единиц евклидовой дистанции (у первой); 4,374 ед. (у второй); 7,818 ед. (у третьей) и 6,150 ед. (общая средняя дистанция). Среднее межкластерное расстояние при этом достигло 20,414 ед., что принципиально больше величин внутрикластерных дистанций и позволяет признать корректным выделение кластеров. Обоснован устойчивый характер соотношения популяций ели европейской, имеющих различное географическое происхождение, по пигментному составу хвои.

Ключевые слова: ель европейская, географическая изменчивость, географические культуры, хвоя, пигментный состав, факторный анализ, кластерный анализ, популяционная структура.

Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Shcherbakov A.Yu. Population structure of geographical cultures of European spruce in the estimates of the pigment composition of needles. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 109–130 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.109-130

The content and ratio of plastid pigments in the conifers of representatives of different populations of Norway spruce introduced into the geographic test-cultures in the Nizhny Novgorod region were studied. A spectrophotometric method was used to identify quantitative estimates of the pigment composition of the leaf apparatus, ensuring the principle of a single logical difference and the basic requirements for the organization of the experiment. Field surveys of plantings and laboratory analyses of biological samples were carried out. The differences between representatives of Norway spruce populations that are remote from each other were revealed when they were grown together as part of geographical crops according to the complex of indicators of the pigment composition of annual needles. The highest content of chlorophyll-a (3.25 ± 0.06 mg/g) was observed in the seed offspring of populations from the Pskov region, which is 1.26 times higher than the corresponding minimum (2.57 ± 0.04 mg/g) recorded in representatives of populations from the Kaliningrad region. Similar scales of the ratio of estimates of the content of chlorophyll-b were recorded, despite the fact that the maximum values (1.37 ± 0.05 mg/g and 1.37 ± 0.06 mg/g) were observed in the origin from the Kostroma and Karelian regions, and the minimum values (1.07 ± 0.03 mg/g and 1.09 ± 0.03 mg/g) were observed in representatives of populations from the Arkhangelsk and Kaliningrad regions. The significance of differences between the populations of Norway spruce in all the considered indicators of pigment composition was confirmed. A similarity was found in the addition of three groups of populations that arose during factor and cluster analysis. The cluster density coefficients (the average Euclidean distance of its addition) of each of them were: 6,258 units of the Euclidean distance (for the first one); 4,374 units. (in the second); 7,818 units. (at the third) and 6,150 units. (total average distance). The average inter-cluster

distance at the same time reached 20,414 units, which is fundamentally greater than the values of intra-cluster distances and allows us to recognize the correct allocation of clusters. The stable nature of the ratio of populations of Norway spruce with different geographical origin, according to the pigment composition of needles, is justified.

Key words: Norway spruce, geographical variability, geographical crops, needles, pigment composition, factor analysis, cluster analysis, population structure.

БЕССЧЕТНОВ Владимир Петрович – заведующий кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, доктор биологических наук, профессор. ResearcherID (WoS): S-5889-2016, ORCID: 0000-0001-5024-7464, SPIN-код: 2031-5241.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: lesfak@mail.ru

BESSHETNOV Vladimir P. – DSc (Biological), Head of the Department of Forest Plantations of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Professor. ResearcherID (WoS): S-5889-2016, ORCID: 0000-0001-5024-7464, SPIN-code: 2031-5241.

603107. Gagarin av. 97. Nizhny Novgorod. Russia. E-mail: lesfak@mail.ru

БЕССЧЕТНОВА Наталья Николаевна – декан факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ResearcherID (WoS): H-1343-2019, ORCID 0000-0002-7140-8797; SPIN-код: 6214-7263.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: besschetnova1966@mail.ru

BESSHETNOVA Natalya N. – DSc (Agriculture), Dean of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Associate Professor. ResearcherID (WoS): H-1343-2019, ORCID 0000-0002-7140-8797; SPIN-code: 6214-7263.

603107. Gagarin av. 97. Nizhny Novgorod. Russia. E-mail: besschetnova1966@mail.ru

ЩЕРБАКОВ Алексей Юрьевич – аспирант кафедры лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. SPIN-код: 8332-0702.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: avtor78174891@gmail.com

SHCHERBAKOV Alersej Yu. – Postgraduate student of the Department of Forest Cultures at the Department of Forest Plantations, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, SPIN-код: 8332-0702.

603107. Gagarin av. 97. Nizhny Novgorod. Russia. E-mail: avtor78174891@gmail.com