

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*161.34 + 630\*164.4

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.5

### МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ ВИДОВ ЕЛИ (*PICEA A. DIETR.*) ПО ПИГМЕНТНОМУ СОСТАВУ ХВОИ

**А. В. Кулькова, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов**

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия,  
Российская Федерация, 603107, Нижний Новгород, пр-т Гагарина, 97  
E-mail: kulkova12@gmail.com; besschetnova1966@mail.ru; lesfak@bk.ru

*Исследовано содержание и соотношение хлорофилла-а, хлорофилла-в и каротиноидов в фотосинтезирующем аппарате представителей рода ель (Picea A. Dietr.) в условиях питомника Ботанического сада Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского. На основе многомерного анализа пигментного состава хвои определена таксономическая близость 13 видов ели: Picea glehnii; P. glauca; P. asperata; P. mariana; P. pungens, f. argentea; P. pungens, f. glauca; P. omorika; P. abies; P. engelmannii; P. pungens; P. jezoensis; P. koraiensis; P. obovata. Исследованные виды ели, представленные экзотами и аборигенами, обладают заметным несходством пигментного состава хвои. Установленные межвидовые различия по своим масштабам относятся к существенным. Поскольку зафиксированная неоднородность проявилась на выровненном экофоне, причину её возникновения можно связать со спецификой генотипов сравниваемых между собой образцов.*

**Ключевые слова:** ель; интродукция; хлорофилл-а; хлорофилл-в; каротиноиды; межвидовая изменчивость; факторный анализ; кластерный анализ.

**Введение.** Интенсификация и дальнейшее совершенствование технологической оснащённости производства в лесном секторе экономики страны, переход к устойчивому управлению лесами, под которым подразумевается формирование постоянной лесосырьевой базы, признаны стратегией развития отечественного лесного хозяйства [1]. Успешность реализации намеченных в соответствии с этими программами во многом определена возможностями искусственного лесовосстановления и лесоразведения, в самой широкой смысловой трактовке этих терми-

нов. Создание искусственных насаждений различного целевого назначения и конструкций неизбежно связано с решением задач формирования их ассортимента. В ряде случаев (промышленные плантации, защитные полосы и массивы, лесопарки и озеленительные посадки городов) оптимальный состав формируемых насаждений предполагает привлечение в их структуру не только аборигенных древесных пород, но и интродуцированных видов [2, 3]. Также это имеет большое значение при формировании базы исходного материала для селекции [2, 4]. Среди них

© Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., 2018.

**Для цитирования:** 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. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.5

многочисленные представители рода ель (*Picea* A. Dietr.) обладают большой ценностью и постоянно находятся в поле зрения отечественных [5–7] и зарубежных [8–11] исследователей. Будучи хорошо изученными в границах своих ареалов [10–13], многие виды ели нуждаются в детализации сведений о формах их хозяйственного использования и особенностях биологии в условиях интродукции. Понятно, что подобные сведения могут приобретать научное и практическое значение только в привязке к конкретным эколого-географическим территориальным единицам. Такие материалы для обширного региона Среднего Поволжья весьма ограничены. В частности, требуют существенного развития представления о пигментном составе фотосинтезирующего аппарата, который, в конечном итоге, определяет продуктивность и резистентность экзотов к лимитирующим факторам среды, обеспечивает наиболее полную реализацию их биологического потенциала в местах интродукции [14–17]. При этом известно, что разнообразные адаптивные реакции хвойных часто проявляются в изменении пигментного состава [18, 19].

**Цель** исследований – определение таксономической близости различных видов ели на основе многомерного анализа по содержанию и соотношению пластидных пигментов хвои в условиях интродукции.

**Объектом исследований** выступала коллекция видов ели в Ботаническом саду Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского. Его территория согласно действующему лесорастительному и лесосеменному районированию лежит в границах хвойно-широколиственного (смешанного) лесного района европейской части Российской Федерации (второй лесосеменной район) зоны хвойно-широколиственной лесов (третья лесорастительная зона). На опытном участке сосредоточены как аборигенные, так и интродуцированные виды и де-

коративные формы ели: ель Глена (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast.); ель канадская (*Picea glauca* (Moench) Voss); ель шероховатая (*Picea asperata* Masters); ель чёрная (*Picea mariana* Mill., Britton, Sterns & Poggenburg); ель колючая форма серебристая (*Picea pungens* Engelm., *f. argentea*); ель колючая форма голубая (*Picea pungens* Engelm., *f. glauca*); ель сербская (*Picea omorika* (Pančić) Purk.); ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) H. Karst.); ель Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.); ель колючая (*Picea pungens* Engelm.); ель аянская (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière); ель корейская (*Picea koraiensis* Nakai); ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). В схеме опыта они представлены в соответствии с их сохранностью и онтогенетической однотипностью.

**Предмет исследований** – степень таксономического сходства и различий интродуцированных и аборигенных видов рода ель по содержанию и соотношению хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b* и каротиноидов в фотосинтезирующем аппарате.

**Методология и методы исследования.** Методологическая платформа исследований построена на принципах единственного логического различия, пригодности и целесообразности опыта. Рендомизированное при многократной повторности размещение растений на участке позволило реализовать принципы случайности и равномерности учётных единиц для каждого вида. Теоретическую основу интродукционного аспекта работы составили фундаментальные труды по данной тематике [2, 4, 20, 21]. Исследования проведены полевым стационарным и лабораторными методами, с привлечением общепринятых подходов к формированию выборок [22]. Элиминация дифференцирующего влияния факторов среды достигалась сравнением учётных деревьев только в пределах одного опытного участка с едиными схемами размещения, одинаковой агротехникой создания и выращивания, однотипным посадочным материалом

при прочих равных условиях произрастания. Это исключило целенаправленное предоставление какому-либо из потомств исследуемых видов преимуществ в обеспечении важнейшими жизненными ресурсами. Нивелирование хронографической изменчивости, вызываемой влиянием фактора времени, обеспечивалось одновременным отбором биологических образцов, синхронно проводимыми наблюдениями и учётами показателей, сравнением только одновозрастных деревьев, их побегов и хвои.

Содержание важнейших пластидных пигментов определяли в соответствии с общепринятыми методиками [15, 16, 23–26]. Задействован спектрофотометрический анализ (спектрофотометр Grating 722) как достаточно точный метод количественного определения пигментного состава листового аппарата [23, 24, 27]. Содержание пигментов устанавливали по оптической плотности вытяжки в 96 % этаноле без её предварительного разделения. Отсчёт значений вели при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения: хлорофилла-*a* (663 нМ), хлорофилла-*b* (645 нМ), каротиноидов (440 нМ). При этом учитывали, что положение максимума поглощения может смещаться в зависимости от используемого растворителя [23, 24]. Концентрации пигментов вычисляли по соответствующим уравнениям Ветштейна и Хольма [23, 24]. Первичной единицей выборки выступала экстракционная навеска хвои одного учётного побега. Всего подготовлено 215 образцов, у которых регистрировали признаки непосредственного учёта и производные от них показатели, наиболее информативно описывающие биологическое состояние изучаемых дендрологических объектов. Подобный подход к организации научных исследований традиционен и используется достаточно часто [28–30]. В соответствии с этим помимо содержания хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b*, их суммарного количества и концентрации кароти-

ноидов, оценивали отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию хлорофилла-*b*; отношение различных форм и суммарного содержания хлорофилла к содержанию каротиноидов, их долю в пигментном составе. Рациональность означенного подхода к подобным исследованиям признана достаточно широко [15, 16, 25, 28, 31]. Статистическая обработка опытных данных выполнена по общепринятым алгоритмам [22].

Методы многомерного анализа в настоящее время находят широкое применение в разноплановых исследованиях древесных видов [22, 29–33]. Их с успехом используют в популяционных исследованиях [34] и в решении задач таксономической классификации [35], привлекают для выделения и сравнительной оценки плюсовых деревьев [28, 29, 32, 34], учитывают при изучении репродуктивной сферы [29] и свойств ксилемы хвойных растений [30, 37], признаков их фотосинтезирующего аппарата [28, 36]. Для реализации принятых методических схем числовые массивы формировали так, чтобы относительно каждого из признаков участвующих в опыте видов ели сохранялась возможность вычисления оценок корреляции и ковариации со всеми остальными характеристиками объектов в их многомерном комплексе сравнения. Множественные характеристики пигментного состава анализируемых видов были преобразованы в ограниченное число сформированных в ходе факторного анализа [22, 39, 40] обобщающих показателей. При этом в главной компоненте объединяли признаки, корреляции между которыми выражены в наибольшей степени. Также было предусмотрено логическое обоснование их включения в состав той или иной компоненты. Корреляция между сформированными в таком порядке комплексными факторами минимальна. Также было принято условие, согласно которому начальные значения главных компонент превышали 1, а доля общей

дисперсии, обусловленная их действием, должна быть не менее 70 % [22]. Для нахождения однозначного решения применён метод ортогонального вращения или метод варимакса. В последующем главные компоненты наряду с нормированными значениями исходных признаков использованы в кластерном анализе и построении дендрограмм [22].

**Результаты и их обсуждение.** Установлены заметные фенотипические различия между включёнными в опыт видами рода ель по анализируемым признакам пигментного состава однолетней хвои (табл. 1).

В частности, по содержанию хлорофилла-*a*, наибольшее среднее значение ( $3,02 \pm 0,09$  мг/г), отмеченное у ели шероховатой, в 1,32 раза превосходит соответствующую минимальную величину ( $2,28 \pm 0,04$  мг/г), обнаруженную у ели колючей. По содержанию хлорофилла-*b* масштаб установленной неоднородности сохранился, и наибольшее среднее значе-

ние ( $1,36 \pm 0,05$  мг/г), отмеченное у ели шероховатой, в 1,44 раза превосходит соответствующую минимальную величину ( $0,95 \pm 0,03$  мг/г), обнаруженную у ели сибирской.

Дисперсионный анализ подтвердил существенность обнаруженных различий и выявил заметную долю влияния собственно межвидовых различий (табл. 2).

Опытные критерии Фишера (см. табл. 2) заметно превысили соответствующие критические значения на однопроцентном и пятипроцентном уровне значимости во всех вариантах учёта анализируемых показателей. Эффективность действия организованного фактора (в нашем случае – межвидовые различия) достаточно высока и принимала значения от  $43,16 \pm 3,33$  % (отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию хлорофилла-*b*) до  $7963 \pm 1,19$  % (отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов). Результаты реализации алгоритмов Плохинского и Снедекора оказались вполне сопоставимыми.

Таблица 1

Содержание пигментов и их доля в пигментном составе хвои видов ели

Виды	Признаки						
	Признак 1	Признак 2	Признак 3	Признак 4	Признак 5	Признак 6	Признак 7
Вид 1	$3,00 \pm 0,06$	$1,22 \pm 0,04$	$0,41 \pm 0,01$	$4,64 \pm 0,11$	$0,71 \pm 0,003$	$0,29 \pm 0,003$	$0,09 \pm 0,001$
Вид 2	$2,81 \pm 0,06$	$1,24 \pm 0,04$	$0,48 \pm 0,01$	$4,52 \pm 0,10$	$0,70 \pm 0,003$	$0,30 \pm 0,003$	$0,11 \pm 0,002$
Вид 3	$2,31 \pm 0,03$	$0,95 \pm 0,03$	$0,46 \pm 0,01$	$3,72 \pm 0,05$	$0,71 \pm 0,004$	$0,29 \pm 0,004$	$0,12 \pm 0,001$
Вид 4	$2,63 \pm 0,06$	$1,15 \pm 0,03$	$0,41 \pm 0,01$	$4,19 \pm 0,09$	$0,70 \pm 0,003$	$0,30 \pm 0,003$	$0,10 \pm 0,002$
Вид 5	$2,30 \pm 0,03$	$0,97 \pm 0,01$	$0,32 \pm 0,01$	$3,59 \pm 0,03$	$0,70 \pm 0,005$	$0,30 \pm 0,005$	$0,09 \pm 0,003$
Вид 6	$2,39 \pm 0,03$	$1,20 \pm 0,03$	$0,47 \pm 0,01$	$4,06 \pm 0,06$	$0,67 \pm 0,003$	$0,33 \pm 0,003$	$0,12 \pm 0,002$
Вид 7	$2,54 \pm 0,10$	$1,10 \pm 0,03$	$0,44 \pm 0,01$	$4,08 \pm 0,14$	$0,70 \pm 0,004$	$0,30 \pm 0,004$	$0,11 \pm 0,002$
Вид 8	$2,78 \pm 0,03$	$1,19 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,01$	$4,32 \pm 0,06$	$0,70 \pm 0,002$	$0,30 \pm 0,002$	$0,08 \pm 0,001$
Вид 9	$2,46 \pm 0,05$	$1,00 \pm 0,03$	$0,37 \pm 0,01$	$3,84 \pm 0,08$	$0,71 \pm 0,002$	$0,29 \pm 0,002$	$0,10 \pm 0,001$
Вид 10	$3,02 \pm 0,09$	$1,36 \pm 0,05$	$0,41 \pm 0,02$	$4,79 \pm 0,15$	$0,69 \pm 0,002$	$0,31 \pm 0,002$	$0,09 \pm 0,001$
Вид 11	$2,45 \pm 0,09$	$1,04 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,01$	$3,83 \pm 0,14$	$0,70 \pm 0,001$	$0,30 \pm 0,001$	$0,09 \pm 0,002$
Вид 12	$2,28 \pm 0,05$	$0,99 \pm 0,02$	$0,33 \pm 0,01$	$3,60 \pm 0,08$	$0,70 \pm 0,003$	$0,30 \pm 0,003$	$0,09 \pm 0,002$
Вид 13	$2,65 \pm 0,04$	$1,19 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,01$	$4,26 \pm 0,06$	$0,69 \pm 0,003$	$0,31 \pm 0,003$	$0,10 \pm 0,003$
Total	$2,59 \pm 0,02$	$1,12 \pm 0,01$	$0,40 \pm 0,004$	$4,12 \pm 0,04$	$0,70 \pm 0,001$	$0,30 \pm 0,001$	$0,10 \pm 0,001$

**Примечание:** Сокращённые обозначения признаков: Признак 1 – содержание хлорофилла-*a*, мг/г; Признак 2 – содержание хлорофилла-*b*, мг/г; Признак 3 – содержание каротиноидов, мг/г; Признак 4 – суммарное содержание пигментов; Признак 5 – доля хлорофилла-*a*; Признак 6 – доля хлорофилла-*b*; Признак 7 – доля каротиноидов. Номерные индексы видов ели: Вид 1 – е. европейская; Вид 2 – е. аянская; Вид 3 – е. сибирская; Вид 4 – е. Энгельмана; Вид 5 – е. сербская; Вид 6 – е. чёрная; Вид 7 – е. колючая; Вид 8 – е. колючая, ф. снежно-голубая; Вид 9 – е. Глена; Вид 10 – е. шероховатая; Вид 11 – е. канадская; Вид 12 – е. корейская; Вид 13 – е. колючая, ф. голубая; Total – обобщённое значение.

Таблица 2

**Существенность межвидовых различий представителей рода ель  
по пигментному составу хвои**

Индекс признака	Критерий Фишера, $F_{оп}$	Доля влияния фактора				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору			
		$h^2$	$\pm s_h^2$	$h^2$	$\pm s_h^2$	$HCP_{05}$	$D_{05}$
Признак 1	18,57	0,5207	0,0280	0,5136	0,0285	0,173	0,312
Признак 2	14,69	0,4622	0,0315	0,4514	0,0321	0,093	0,168
Признак 3	17,20	0,5015	0,0292	0,4933	0,0296	0,258	0,466
Признак 4	33,86	0,6645	0,0196	0,6639	0,0197	0,027	0,048
Признак 5	12,97	0,4316	0,0333	0,4185	0,0340	0,097	0,175
Признак 6	66,81	0,7963	0,0119	0,7982	0,0118	0,327	0,589
Признак 7	31,33	0,6470	0,0207	0,6458	0,0207	0,195	0,352
Признак 8	14,32	0,4560	0,0318	0,4447	0,0325	0,009	0,016
Признак 9	14,32	0,4560	0,0318	0,4447	0,0325	0,009	0,016
Признак 10	58,93	0,7752	0,0132	0,7769	0,0131	0,005	0,009
Признак 11	58,95	0,7752	0,0132	0,7770	0,0131	0,006	0,011
Признак 12	18,57	0,5207	0,0280	0,5136	0,0285	0,173	0,312

**Примечание:** Признак 1 – содержание хлорофилла-*a*; Признак 2 – содержание хлорофилла-*b*; Признак 3 – суммарное содержание хлорофилла; Признак 4 – содержание каротиноидов; Признак 5 – отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию хлорофилла-*b*; Признак 6 – отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов; Признак 7 – отношение содержания хлорофилла-*b* к содержанию каротиноидов; Признак 8 – доля хлорофилла-*a*; Признак 9 – доля хлорофилла-*b*; Признак 10 – доля каротиноидов; Признак 11 – отношение содержания каротиноидов к сумме хлорофиллов; Признак 12 – суммарное содержание пластидных пигментов.  $F_{05/01} = 1,80$  и  $2,28$ .

Выраженная неоднородность рассматриваемых характеристик и её эндогенный характер создали предпосылки для проведения многомерных сравнений анализируемых видов. Факторный анализ,

выполненный методом главных компонент, позволил сгруппировать широкий перечень характеристик пигментного состава хвои в три главных компоненты (рис. 1).

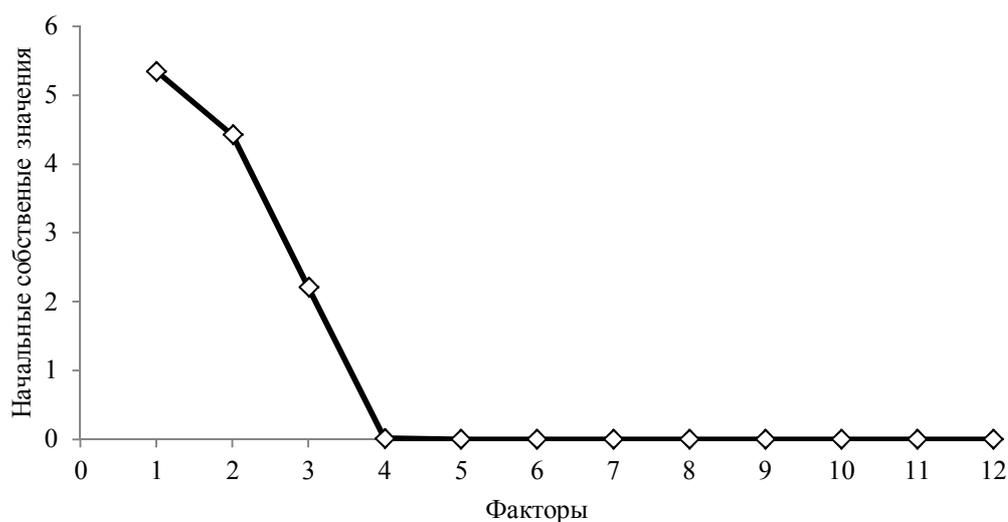


Рис. 1. Выделение главных компонент пигментного состава хвои видов ели

Таблица 3

## Главные компоненты признаков пигментного состава видов ели

Признаки	Главные компоненты		
	1	2	3
Признак 1	-	0,9733	-
Признак 2	-	0,9116	-
Признак 3	-	0,9810	-
Признак 4	0,8618	-	-
Признак 5	-	-	0,9892
Признак 6	-0,9527	-	-
Признак 7	-0,9585	-	-
Признак 8	-	-	0,9863
Признак 9	-	-	-0,9863
Признак 10	0,9672	-	-
Признак 11	0,9664	-	-
Признак 12	-	0,9941	-
Начальные собственные значения компонент	5,347	4,423	2,208
Доля дисперсии главных компонент, %	44,560	36,858	18,400
Общая доля дисперсии главных компонент, %	99,818		

**Примечание:** использованы обозначения признаков, принятые в табл. 2.

Критерием выделения наиболее значимых комплексных факторов служила величина их начальных собственных значений (см. рис. 1): у главных компонент она превышает 1. В соответствии с этим условием надёжное распределение всех исходных признаков по ним ограничено тремя главными компонентами. Отсечение так называемого «гравия» или компонент, которые признаются малозначимыми, произошло однозначно. Все они характеризуются приблизительно одинаковыми величинами начальных собственных значений, близкими к нулю. Распределение анализируемых признаков по трём главным компонентам представлено в табл. 3.

В первой компоненте (см. табл. 3) оказались характеристики, так или иначе связанные с наличием в хвое каротиноидов. Во вторую – вошли признаки, определяющие содержание зелёных пигментов: хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b*, их суммарного количества, а также общая сумма пигментов, определяемая преимущественно присутствием разных форм хлорофилла. Третья компонента объединила в своём составе оценки соотношения между хлорофиллом-*a* и хлорофиллом-*b*. Порядок распределения характеристик пигментного состава

ва хвои по сформированным главным компонентам весьма логичен, что свидетельствует об успешности завершения факторного анализа. Итог выполненных преобразований и уменьшения числа действующих факторов вполне обоснован, что подтверждено большой долей общей дисперсии, приходящейся на полученные в ходе факторного анализа три главные компоненты (99,818 %), которая заметно больше критического семидесятипроцентного порога.

Кластерный анализ, проведённый для нормированных значений 12 исходных признаков (табл. 4) и трёх главных компонент (табл. 5), позволил построить дендрограммы таксономического сходства рассматриваемых видов (рис. 2, 3).

В табл. 4 отражена последовательность этапов объединения плюсовых деревьев в кластеры, соответствующая этому величина квадрата евклидовой дистанции и адекватное ей значение расстояния, выраженное в масштабных единицах 25-разрядной шкалы, принятой для графического представления дендрограмм (рис. 2). На дендрограмме, построенной по нормированным значениям 12 признаков пигментного состава (см. рис. 2), виды ели объединены в кластеры в соответствии с проявлениями их сходства.

Таблица 4

## Схема кластеризации видов ели по нормированным значениям 12 признаков пигментного состава

этап	Шаги агломерации		Коэффициенты		Этапы появления первого кластера		Следующий этап
	кластер 1	кластер 2	дистанция примыкания	единицы масштаба	кластер 1	кластер 2	
1	4	13	0,853	0,47	0	0	4
2	5	12	0,980	0,54	0	0	3
3	5	11	1,938	1,08	2	0	6
4	4	7	4,286	2,38	1	0	5
5	2	4	5,195	2,88	0	4	9
6	5	9	5,760	3,20	3	0	9
7	1	8	10,174	5,64	0	0	8
8	1	10	12,267	6,81	7	0	10
9	2	5	16,670	9,25	5	6	10
10	1	2	22,546	12,51	8	9	11
11	1	3	40,144	22,27	10	0	12
12	1	6	45,062	25,00	11	0	0

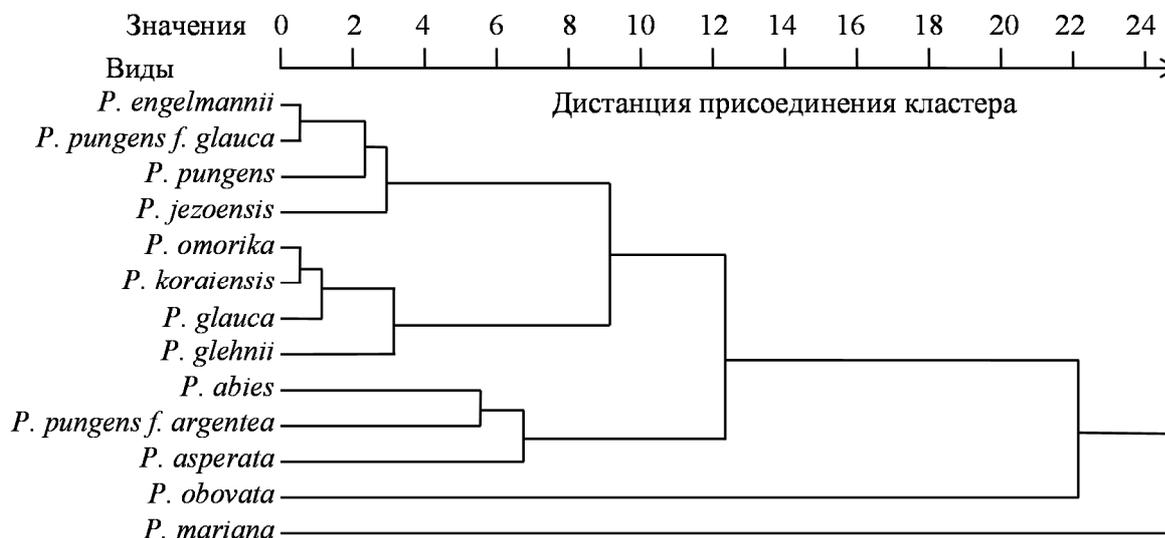


Рис. 2. Дендрограмма сходства видов ели по 12 признакам пигментного состава

Наиболее близкими между собой по указанному комплексу характеристик с минимальным расстоянием 0,47 единицы 25-разрядной шкалы оказались виды североамериканского происхождения: ель Энгельмана (*P. engelmannii*) и ель колючая, форма голубая (*P. pungens*, *f. glauca*). Достаточно сходна с ними (2,38 единицы масштаба евклидовой дистанции) расположенная в том же микрокластере типичная форма ели колючей (*P. pungens*). В наибольшей мере отличаются от остальных ель сибирская (*Picea obovata*) и ель чёрная (*P. mariana*). Дистанции их финального вхождения в единую иерархиче-

скую систему соответственно составили 22,27 и 25,00 единиц.

Проведение кластеризации с построением дендрограмм на основе главных компонент (см. табл. 4, рис. 3) дало сопоставимый в основных чертах результат при некоторых вполне понятных в такой ситуации различиях (см. табл. 3, рис. 2). Наблюдаемый на «первой» дендрограмме (см. рис. 2) микрокластер, в который входят ель Энгельмана (*P. engelmannii*), ель колючая, форма голубая (*P. pungens*, *f. glauca*), типичная форма ели колючей (*P. pungens*) и ель аянская (*Picea jezoensis*), устойчиво сохранён на «второй» (см. рис. 3).

Таблица 5

## Схема кластеризации видов ели по трём главным компонентам признаков пигментного состава

этап	Шаги агломерации		Коэффициенты		Этапы появления первого кластера		Следующий этап
	кластер 1	кластер 2	дистанция примыкания	единицы масштаба	кластер 1	кластер 2	
1	4	13	0,225	0,50	0	0	4
2	5	12	0,273	0,60	0	0	3
3	5	11	0,655	1,45	2	0	6
4	4	7	0,927	2,05	1	0	5
5	2	4	1,663	3,68	0	4	8
6	5	9	2,419	5,35	3	0	10
7	8	10	2,430	5,38	0	0	8
8	2	8	4,037	8,93	5	7	9
9	1	2	4,367	9,66	0	8	10
10	1	5	5,475	12,11	9	6	11
11	1	3	9,298	20,57	10	0	12
12	1	6	11,299	25,00	11	0	0

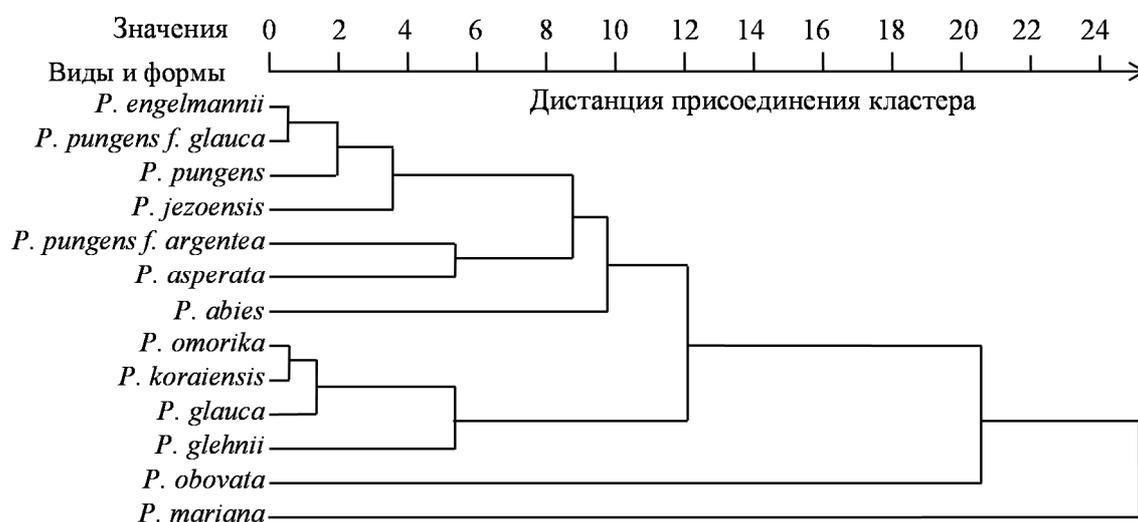


Рис. 3. Дендрограмма сходства видов ели по трём главным компонентам признаков пигментного состава хвои

В первом и втором случае наиболее отличающимися от всех остальных остаются ель сибирская (*P. obovata*) и ель чёрная (*P. mariana*). То же можно сказать в отношении микрокластера, объединившего ель сербскую, ель корейскую, ель канадскую и ель Глена.

Представленный материал свидетельствует о достаточной стабильности достигнутых результатов кластеризации и о реальности зафиксированных соотношений между исследованными видами ели по пигментному составу однолетней хвои.

**Заключение.** Исследованные виды ели, представленные экзотами и абorigine-

нами, обладают заметным несходством пигментного состава хвои. Установленные межвидовые различия по своим масштабам относятся к существенным, что подтвердил однофакторный дисперсионный анализ. Поскольку зафиксированная неоднородность проявилась на выровненном экофоне, причину её возникновения можно связать со спецификой генотипов сравниваемых между собой образцов.

Факт существования межвидовых различий, их величина и наследственная обусловленность определили возможность и целесообразность проведения многомерных сравнений с помощью фак-

торного и кластерного анализа. Построение на основе их результатов дендрограмм обнаружило в составе тестируемого набора видов группировки наиболее сходных между собой объектов и образцы, в наибольшей степени отличающиеся от остальных. Позиции, занимаемые ими в иерархических кластерах, стабильны и не меняются при переходе от одной схемы группировки к другой. Большая степень сходства в характеристиках пигментного состава хвои ряда сравниваемых между собой видов и форм, в частности, таких как: ель Энгельмана (*P. engelmannii*), ель колючая, форма голубая (*P. pungens*, f. *glauca*), типичная форма ели колючей (*P. pungens*), соответствует представлениям об их таксономической близости.

Отсутствие чёткой и однозначно трактуемой тенденции в проявлениях многомерных оценок пигментного состава хвои у различных в таксономическом плане видов ели указывает на сложный характер формирования этих характеристик и на слабо выраженную иерархичность в принятом на текущий момент взгляде на таксономическое устройство рода ель. Дивергенция контрастно различающихся по окраске хвои декоративных форм одного вида может достигать уровня, который превышает расхождения в пигментации хвои между типичными представителями разных видов. Это зависит от наличия и соотношения в пигментном составе их листового аппарата изомеров хлорофилла и каротиноидов, что, в конечном итоге, и определяет собственно окраску хвои.

#### Список литературы

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013 - 2020 годы: Утв.: распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 2593-р: Председатель Правительства РФ Д. Медведев // Собрание законодательства Российской Федерации. 2013. № 2. 230 с.
2. Ланин П.И. Научные основы и результаты интродукции древесных растений // Журнал общей биологии. 1977. № 5. С. 781–793.
3. Таран С.С., Колганова И.С. Методологические аспекты оценки результатов интродукции древесных растений для целей озеленения // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-9. С. 1892–1896.
4. Ланин П.И. Исследование древесных растений при интродукции. М.: Наука, 1982. 218 с.
5. Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В. Сравнительная оценка представителей рода ель (*Picea* L.) по содержанию жиров в тканях годичных побегов // Научные и инновационные разработки молодых ученых аграриев: Сб. тр. молодых ученых ФГБОУ ВПО «Нижегородская ГСХА» за 2014-2015 гг. Нижний Новгород, 2015. С. 53–58.
6. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea* A. Dietr.) в условиях интродукции / Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов, А.В. Кулькова и др // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.
7. Ершов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев ели европейской // Хвойные бореальной зоны. 2017. Том XXXVI, № 3-4. С. 29 – 37.
8. Larsson E., Sundström J. F., Sitbon F., von Arnold S. Expression of PaNAC01, a *Picea abies* Cup-Shaped cotyledon orthologue, is regulated by polar auxin transport and associated with differentiation of the shoot apical meristem and formation of separated cotyledons // Annals of Botany. 2012. Vol. 110, Iss. 4. Pp. 923–934. DOI: 10.1093/aob/mcs151.
9. Population genetic evidence for speciation pattern and gene flow between *Picea wilsonii*, *P. morrisonicola* and *P. neoveitchii* / J. Zou, Y. Sun, L. Li et al. // Annals of Botany. 2013. Vol. 112, Iss. 9. Pp. 1829–1844. DOI: 10.1093/aob/mct241.
10. Genetic diversity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in Romanian Carpathians / R.G. Radu, L.A. Curtu, G. Spârchez et al. // Annals of Forest Research. 2014. Vol. 57, Iss. 1. Pp. 19–29. DOI: 10.15287/afr.2014.178.
11. New fossil Pinaceae from the Early Cretaceous of Mongolia / F. Herrera, A.B. Leslie, G. Shi et al. // Canadian Journal of Botany. 2016. Vol. 94, Iss. 9. Pp. 885–915. DOI: 10.1139/cjb-2016-0042.
12. Eerikäinen K., Valkonen S., Saksa T. In-growth, survival and height growth of small trees in uneven-aged *Picea abies* stands in southern Finland // Forest Ecosystems. 2014. Vol. 1, Iss. 5. Pp. 1–10. DOI: 10.1186/2197-5620-1-5.
13. Savidge R.A. Porsild spruce in Canada – an update // The Forestry Chronicle. 2014. Vol. 90, Iss. 01. Pp. 105–107. DOI: 10.5558/tfc2014-016.
14. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере России / Е.Н. Наквасина, О.А. Юдина, Н.А. Прожерина и др. Архангельск: Архангель-

ский государственный технический университет, 2008. 308 с.

15. *Lichtenthaler H.K., Buschmann C.* Chlorophylls and carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. UNIT F4.3. Pp. F4.3.1-F4.3.

16. *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.

17. *Peguero-Pina J.J., Morales F., Gil-Pelegrin E.* Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma // Annals of Forest Science. 2008. Vol. 65, No. 8, article no 813. pp. 813p1–813p6. DOI: 10.1051/forest:2008068.

18. Plasticity in mesophyll volume fraction modulates light-acclimation in needle photosynthesis in two pines / Ü. Niinemets, A. Lukjanova, M.H. Turnbull et al. // Tree Physiology. 2007. Vol. 27, no 8. Pp. 1137–1151. DOI: 10.1093/treephys/27.8.1137.

19. Seasonal acclimation of photosystem II in *Pinus sylvestris*. II. Using the rate constants of sustained thermal energy dissipation and photochemistry to study the effect of the light environment / A. Porcar-Castell, E. Juurola, I. Ensminger, et al. // Tree Physiology. 2008. Vol. 28, Iss. 10. Pp. 1483–1491. DOI: 10.1093/treephys/28.10.1483.

20. *Потанова С.А.* Динамика роста побегов интродуцированных видов сосен // Бюллетень ГБС АН СССР. 1985. Вып. 137. С. 28–31.

21. *Булыгин Н.Е.* Принципы выделения дендротипов и их индикационное значение в интродукции древесных растений // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: Материалы 2-й Междунар. науч. конф.: Санкт-Петербург, 20-23 апреля 1999 г. СПб.: Изд-во ЛТА, 1999. С. 111–113.

22. *Никитин К.Е., А.З. Швиденко А.З.* Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесная промышленность, 1978. 272 с.

23. *Максимов Г.Л.* Методы биохимического анализа растений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 192 с.

24. *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, no. 3. Pp. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2.

25. *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, no. 12. Pp. 767–775. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767.

26. *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. DOI: 10.3965/j.ijabe.20130602.0012.

27. *Gitelson A.A., Buschmann C., Lichtenthaler H.K.* The Chlorophyll Fluorescence Ratio F735/F700 as an Accurate Measure of the chlorophyll Content in Plants // Remote Sensing of Environment. An Interdisciplinary Journal. Estimation of chlorophyll content by Fluorescence Measurements. 1999. Vol. 69, no. 3. Pp. 296–302. DOI: 10.1016/S0034-4257(99)00023-1.

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

29. *Бессчетнова Н.Н.* Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2015. 586 с.

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

31. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide / J.L.J. Houpiis, K.A. Surano, S. Cowles, et al. // Tree Physiology. 1988. Vol. 4, no. 2. Pp. 187–193. DOI: 10.1093/treephys/4.2.187.

32. Divergence studies in plus trees of neem (*Azadirachta indica*) / N. Kaushik, S. Nautiyal, J.C. Kaushik et al. // Indian Journal of Agroforestry. 2007. Vol. 9, no. 2. Pp. 106–110.

33. *Temesgen H., Barrett T. M., Latta G.* Estimating cavity tree abundance using Nearest Neighbor Imputation methods for western Oregon and Washington forests // Silva Fennica. 2008. Vol. 42, no. 3. Pp. 337–354. DOI: 10.14214/sf.241.

34. *Kinloch B.B., Westfall R.D., Forrest G.I.* Caledonian Scots pine: origin and genetic structure // New Phytologist. 1986. Vol. 104, Iss. 4. Pp. 703–729. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1986.tb00671.x.

35. Аминокислотный состав семян и систематика семейства Pinaceae / В.Ф. Семихов, Е.В. Гвоздева, В.П. Бессчетнов и др. // Ботанический журнал. 2007. Т. 92, № 12. 118–132.

36. Molecular marker-based characterization in candidate plus trees of *Pongamia pinnata*, a potential biodiesel legume / V. Kesari, V.M. Sathyanarayana, A. Parida et al. // AoB Plants. 2010. Vol. 2010, plq017. Pp. 1–12. DOI: 10.1093/aobpla/plq017.

37. *Силкин П.П.* Методы многопараметрического анализа структуры годичных колец хвойных. Красноярск: Проспект, Сибирский федеральный университет, 2015. 335 с.

38. *Androsiuk P., Kaczmarek Z., Urbaniak L.* The morphological traits of needles as markers of geographical differentiation in European *Pinus sylvestris* populations // Dendrobiology. 2011. Vol. 65. Pp. 03–16.

39. Multivariate patterns of biochemical responses of *Pinus ponderosa* trees at field plots in the San Bernardino Mountains, southern California / M. Tausz, A. Bytnerowicz, M. J. Arbaugh et al. // *Tree Physiology*. 2001. Vol. 21, no. 5. Pp. 329–336. DOI: 10.1093/treephys/21.5.329.

40. Nascimento (do) F., Atroch A.L., Regazzi A.J. Evaluation of characteristics of guarana clone seedlings using factor analysis // *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2011. Vol. 54, no. 2. Pp. 107–112. DOI: 10.4322/rca.2012.002.

Статья поступила в редакцию 10.01.18

### Информация об авторах

**КУЛЬКОВА Анна Владимировна** – аспирант кафедры лесных культур, Нижегородская ГСХА. Область научных интересов – вопросы интродукции древесных видов, вегетативное размножение, биология и физиология деревьев и кустарников. Автор четырёх публикаций.

**БЕССЧЕТНОВА Наталья Николаевна** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, декан факультета лесного хозяйства, Нижегородская ГСХА. Область научных интересов – проблемы эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала плюсовых деревьев основных лесобразующих пород, селекция сосны обыкновенной, лесные культуры, интродукция. Автор 84 публикаций.

**БЕССЧЕТНОВ Владимир Петрович** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесных культур, проректор по развитию, Нижегородская ГСХА. Область научных интересов – проблемы эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала плюсовых деревьев основных лесобразующих пород, селекция облепихи, селекция сосны обыкновенной. Автор 127 публикаций.

UDC 630\*161.34 + 630\*164.4

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.5

### MULTIPARAMETER EVALUATION OF THE TAXONOMIC PROXIMITY OF THE SPECIES OF SPRUCE (*PICEA A. DIETR.*) IN THE PIGMENT COMPOSITION OF NEEDLES

*A. V. Kulkova, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov*

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy,

97, Gagarin Av., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation

E-mail: kulkova12@gmail.com; besschetnova1966@mail.ru; lesfak@bk.ru

**Keywords:** spruce; introduction; chlorophyll-a; chlorophyll-b; carotenoids; interspecies variability; factor analysis; cluster analysis.

#### ABSTRACT

The content and ratio of chlorophyll-a, chlorophyll-b and carotenoids in the photosynthetic apparatus of the spruce genus were studied. The **goal** of the research is to determine the taxonomic proximity of various types of fir on the basis of a multivariate analysis on the content and ratio of plastid pigments of needles in the conditions of introduction. Thirteen species of spruce (*P. glehnii*; *P. glauca*; *P. asperata*; *P. mariana*; *P. pungens*, f. *argentea*; *P. pungens*, f. *glauca*; *P. omorika*; *P. abies*; *P. engelmannii*; *P. pungens*; *P. jezoensis*; *P. koraiensis*; *P. obovata*) were chosen to be the object of the research. The pice-tum of Botanical garden of Nizhny Novgorod State University named after N.I.Lobachevskiy is the place of their dislocation. The **methodological** approach included compliance with the principles of exclusive difference, reliability, and suitability of experience. A **methodical** apparatus is based on the use of spectrophotometric method to study the pigment composition of even-aged needles. **Results.** Serious discrepancy of pigment composition of needles of the studied kinds of fir were determined. Some obvious dissimilarities of the pigment composition of needles of the studied types of spruce were discovered. Established interspecific differences were significant, which was confirmed by ANOVA. As the documented heterogeneity is manifested in the consistent environmental background, the cause of it can be explained with the peculiarities of the compared genotypes between the samples. Significant interspecific differences have identified the possibility to conduct multiple comparisons using factor and cluster analysis. On the basis of the obtained results, the dendrograms were constructed. According to the dendrograms, there were the test sets with the most similar features and the test sets with the largest difference between them. The positions they occupy in the hierarchical clusters are stable and do not change during the transition from one circuit group to another one. **Conclusion.** A large degree of similarity in the characteristics of the pigment composition of needles of a number of compared species, particularly it concerns Engelmann spruce (*P. engelmannii*), blue spruce (*P. pungens*, f. *glauca*), typical kind of blue spruce (*P. pungens*), corresponds to the ideas of their taxonomic proximity.

## REFERENCES

- Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii «Razvitie lesnogo khozyaystva» na 2013 - 2020 gody: Utv.: rasporyazheniem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 28 dekabrya 2012 g. № 2593-r: Predsedatel Pravitelstva RF D. Medvedev [State Program of the Russian Federation “Development of Forestry” for 2013 - 2020 years: approved by the order of the Chairman of the Government of the Russian Federation of 28 December 2012. № 2593-p: D. Medvedev, Chairman of the Government of the Russian Federation]. Sobranie zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii [Corpus of Legislative Acts of the Russian Federation]. 2013. No 2. 230 p.
- Lapin P.I. Nauchnye osnovy i rezultaty introduksii drevesnykh rasteniy [Scientific Basis and Results of Introduction of Woody Plants]. *Zhurnal obshchey biologii* [The Journal of General Biology]. 1977. No 5. P. 781–793.
- Taran S.S., Kolganova I.S. Metodologicheskie aspekty otsenki rezultatov introduksii drevesnykh rasteniy dlya tseley ozeleneniya [Methodological Aspects to Assess the Results of Introduction of Woody plants for Landscaping Purposes]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research]. 2013. № 11-9. P. 1892–1896.
- Lapin P.I. *Issledovanie drevesnykh rasteniy pri introduksii* [Study of Woody Plants in Introduction]. Moscow: Nauka, 1982. 218 p.
- Besschetnova N.N., Kulkova A.V. Sravnitel'naya otsenka predstaviteley roda el (Picea L.) po sodержaniyu zhirov v tkanyakh godichnykh pobegov [A Comparative Evaluation of the Representatives of Spruce (Picea L.) Genus on the Content of Fats in the Tissues of Annual Shoots]. *Nauchnye i innovatsionnye razrabotki molodykh uchennykh agrariyev: Sbornik trudov molodykh uchennykh FGBOU VPO Nizhegorodskaya GSKHA za 2014-2015 gg.* [Scientific and Innovative Developments of Young Scientists of Agrarians: papers of Young Scientists of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy for 2014-2015]. Nizhny Novgorod, 2015. P. 53–58.
- Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kulkova A.V. et al. Soderzhanie krakhmala v tkanyakh pobegov raznykh vidov eli (Picea A. Dietr.) v usloviyakh introduksii [Starch Content in Shoot Tissues of Different Spruce Species (Picea A. Dietr.) in Introduction]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forestry Journal]. 2017. No 4. P. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.
- Ershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Pigmentnyy sostav khvoi plusovykh derevet eli evropeyskoy [Pigment Composition of the Needles of Plus Trees of Norway Spruce]. *Khvoynye borealnoy zony* [The Coniferous of the Boreal Area]. 2017. Vol. XXXVI, No 3–4. P. 29 – 37.
- Larsson E., Sundström J. F., Sitbon F., von Arnold S. Expression of PaNAC01, a Picea abies Cup-Shaped cotyledon orthologue, is regulated by polar auxin transport and associated with differentiation of the shoot apical meristem and formation of separated cotyledons. *Annals of Botany*. 2012. Vol. 110, Iss. 4. Pp. 923–934. DOI: 10.1093/aob/mcs151.
- Zou J., Sun Y., Li L. et al. Population genetic evidence for speciation pattern and gene flow between Picea wilsonii, P. morrisonicola and P. neoveitchii. *Annals of Botany*. 2013. Vol. 112, Iss. 9. Pp. 1829–1844. DOI: 10.1093/aob/mct241.
- Radu R.G., Curtu L.A., Spârchez G. et al. 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/afr.2014.178.
- Herrera F., Leslie A.B., Shi G. et al. New fossil Pinaceae from the Early Cretaceous of Mongolia. *Canadian Journal of Botany*. 2016. Vol. 94, Iss. 9. Pp. 885–915. DOI: 10.1139/cjb-2016-0042.
- Eerikäinen K., Valkonen S., Saksa T. In-growth, survival and height growth of small trees in uneven-aged Picea abies stands in southern Finland. *Forest Ecosystems*. 2014. Vol. 1, Iss. 5. Pp. 1–10. DOI: 10.1186/2197-5620-1-5.
- Savidge R.A. Porsild spruce in Canada – an update. *The Forestry Chronicle*. 2014. Vol. 90, Iss. 01. Pp. 105–107. DOI: 10.5558/tfc2014-016.
- Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A. et al. *Geograficheskie kultury v genekologicheskikh issledovaniyakh na Evropeyskom Severe Rossii* [Provenance Trial Plantations in the Gene-Environmental Studies in the European North of Russia]. Arhangelsk: Arhangelskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2008. 308 p.
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001. UNIT F4.3. Pp. F4.3.1-F4.3.
- 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.
- Peguero-Pina J.J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in Pinus sylvestris L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma. *Annals of Forest Science*. 2008. Vol. 65, No. 8, article no 813. pp. 813p1–813p6. DOI: 10.1051/forest:2008068.
- Niinemets Ü., Lukjanova A., Turnbull M.H. et al. Plasticity in mesophyll volume fraction modulates light-acclimation in needle photosynthesis in two pines. *Tree Physiology*. 2007. Vol. 27, no 8. Pp. 1137–1151. DOI: 10.1093/treephys/27.8.1137.

19. Porcar-Castell A., Juurola E., Ensminger I., et al. Seasonal acclimation of photosystem II in *Pinus sylvestris*. II. Using the rate constants of sustained thermal energy dissipation and photochemistry to study the effect of the light environment. *Tree Physiology*. 2008. Vol. 28, Iss. 10. Pp. 1483–1491. DOI: 10.1093/treephys/28.10.1483.
20. Potapova S.A. Dinamika rosta pobegov introdutsirovannykh vidov sosen [Growth Dynamics of Shoots of the Introduced Pine Species]. *Bulleten GBS AN SSSR* [Bulletin of the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR]. 1985. Iss. 137. P. 28–31.
21. Bulygin N.E. Printsipy vydeleniya dendroritmotipov i ikh indikatsionnoe znachenie v introduktsii drevesnykh rasteniy [The Principles of Allocation of Dendrorhythmotype and Their Indicative Significance in the Introduction of Woody Plants]. *Biologicheskoe raznoobrazie. Introduktsiya rasteniy: Materialy 2-y Mezhdunar. nauch. konf.: Sankt-Peterburg, 20-23 aprelya 1999 g.* [Biological Diversity. Plant Introduction: Materials of the 2nd Intern. Scientific. Conf.: Saint-Petersburg, 20-23 April 1999]. St. Petersburg: Izd-vo LTA, 1999. P. 111–113.
22. Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. *Metody i tekhnika obrabotki lesovodstvennoy informatsii* [The Methods and Technique to Process Forestry Information]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1978. 272 p.
23. Maksimov G.L. *Metody biokhimicheskogo analiza rasteniy* [Methods of Biochemical Analysis of Plants]. Leningrad: Izd-vo LGU, 1978. 192 p.
24. 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, no. 3. Pp. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2.
25. 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, no. 12. Pp. 767–775. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767.
26. 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. DOI: 10.3965/j.ijabe.20130602.0012.
27. Gitelson A.A., Buschmann C., Lichtenthaler H.K. The Chlorophyll Fluorescence Ratio F735/F700 as an Accurate Measure of the chlorophyll Content in Plants. *Remote Sensing of Environment. An Interdisciplinary Journal. Estimation of chlorophyll content by Fluorescence Measurements*. 1999. Vol. 69, no. 3. Pp. 296–302. DOI: 10.1016/S0034-4257(99)00023-1.
28. Besschetnova N.N., Besschestnov V.P. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Morfometriya i fiziologiya khvoi plusovykh derevev*. [Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Morphometry and Physiology of Needles of Plus Trees.]. Nizhny Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya, 2014. 368 p.
29. Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproductivnyy potentsial plusovykh derevev* [Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Reproductive Potential of Plus Trees.]. Nizhny Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya, 2015. 586 p.
30. Besschetnova, N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Effektivnost otbora plusovykh derevev* [Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). The Efficiency of Selection of Plus Trees.]. Nizhny Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya, 2016. 464 p.
31. Houpis J.L.J., Surano K.A., Cowles S., et al. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide. *Tree Physiology*. 1988. Vol. 4, no. 2. Pp. 187–193. DOI: 10.1093/treephys/4.2.187.
32. Kaushik N., Nautiyal S., Kaushik J.C. et al. Divergence studies in plus trees of neem (*Azadirachta indica*). *Indian Journal of Agroforestry*. 2007. Vol. 9, no. 2. Pp. 106–110.
33. Temesgen H., Barrett T. M., Latta G. Estimating cavity tree abundance using Nearest Neighbor Imputation methods for western Oregon and Washington forests. *Silva Fennica*. 2008. Vol. 42, no. 3. Pp. 337–354. DOI: 10.14214/sf.241.
34. Kinloch B.B., Westfall R.D., Forrest G.I. Caledonian Scots pine: origin and genetic structure. *New Phytologist*. 1986. Vol. 104, Iss. 4. Pp. 703–729. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1986.tb00671.x.
35. Semikhov V.F., Gvozdeva E.V., Besschetnov V.P. et al. Aminokislotnyy sostav semyan i sistematika semeystva Pinaceae [Amino Acid Composition of Seeds and Systematics of the Family Pinaceae]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal]. 2007. Vol. 92, no. 12. P. 118–132.
36. Kesari V., Sathyanarayana V.M., Parida A. et al. Molecular marker-based characterization in candidate plus trees of *Pongamia pinnata*, a potential biodiesel legume. *AoB Plants*. 2010. Vol. 2010, plq017. Pp. 1–12. DOI: 10.1093/aobpla/plq017.
37. Silkin P.P. *Metody mnogoparametricheskogo analiza struktury godichnykh kolets khvoynykh* [The Methods of Multiparameter Analysis of the Structure of Annual Rings of Conifers]. Krasnoyarsk: Prospekt, Sibirskiy federalnyy universitet, 2015. 335 p.
38. Androsiuk P., Kaczmarek Z., Urbaniak L. The morphological traits of needles as markers of geographical differentiation in European *Pinus sylvestris* populations. *Dendrobiology*. 2011. Vol. 65. Pp. 03–16.

39. Tausz M., Bytnerowicz A., Arbaugh M. J. et al. Multivariate patterns of biochemical responses of *Pinus ponderosa* trees at field plots in the San Bernardino Mountains, southern California. *Tree Physiology*. 2001. Vol. 21, no. 5. Pp. 329–336. DOI: 10.1093/treephys/21.5.329.

40. Nascimento (do) F., Atroch A.L., Regazzi A.J. Evaluation of characteristics of guarana clone seedlings using factor analysis. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2011. Vol. 54, no. 2. Pp. 107–112. DOI: 10.4322/rca.2012.002.

The article was received 10.01.18.

**For citation:** Kulkova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Multiparameter Evaluation of the Taxonomic Proximity of the Species of Spruce (*Picea A. Dietr.*) in the Pigment Composition of Needles. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2018. No 1(37). Pp. 5–18. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.5

#### Information about the authors

*KULKOVA Anna Vladimirovna* – Postgraduate student at the Chair of Forest Crops, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Research interests – introduction of woody species, vegetative propagation, biology and physiology of trees and shrubs. The author of four publications.

*BESSCHETNOVA Natalia Nikolayevna* – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Crops, Dean at the Faculty of Forestry, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Research interests – problems of efficiency of forest selection and improvement of breeding potential of plus trees of major forest species, Scots pine selection, forest crops, introduction. The author of 84 publications.

*BESSCHETNOV Vladimir Petrovich* – Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice Rector for Development, Head at the Chair of Forest Crops, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Research interests – problems of efficiency of forest selection and improvement of breeding potential of plus trees of major forest species, sea buckthorn selection, Scots pine selection. The author of 127 publications.