

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\* 165.6 + 630\*232.311.3

*Н. Н. Бессчетнова*

### МНОГОМЕРНАЯ ОЦЕНКА ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОИ

*Пигментный состав хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) выступает надежным критерием оценки их селекционных преимуществ. Факторный и кластерный анализ дают адекватную многомерную оценку степени близости плюсовых деревьев. Их привлечение для анализа может расширить арсенал существующих методов исследования селекционных преимуществ изучаемых растений.*

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная; плюсовые деревья; клоны; пигменты хвои; хлорофилл; каротиноиды; факторный анализ; кластерный анализ.

**Введение.** Формирование ассортимента объектов постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ) и единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК) рассматривается как одна из сложных задач, требующая для своего решения многосторонней оценки плюсовых деревьев, входящих в их состав [1]. Существующая система массового отбора плюсовых деревьев по фенотипу [2] может быть в значительной мере усовершенствована посредством расширения перечня признаков, используемых в качестве селекционных критериев. К их числу могут быть отнесены биологические характеристики, в числе которых пигментный состав фотосинтезирующего аппарата древесных видов занимает одно из центральных мест [3–6]. По мнению ряда авторов [4, 7–9], содержание пигментов в хвое связано с устойчивостью растений к лимитирующим экологическим факторам. Такой подход к оценке результатов селекции требует активного привлечения методов многомерного комплексного анализа биологических объектов [10–12].

**Цель работы** – получить многомерные сравнительные оценки плюсовых деревьев сосны обыкновенной по комплексу показателей пигментного состава хвои и на их основе определить степень обобщенной статистической близости анализируемых объектов.

**Методы и объекты исследования.** Объектом исследований выступали клоны плюсовых деревьев сосны обыкновенной, сосредоточенные в их архивах и на лесосеменных плантациях, созданных в Нижегородской области. Содержание пигментов в хвое определялось традиционными методами [13–15].

Группировка рассматриваемого набора признаков (переменных) в комплексы с наиболее тесными связями между ними (комплексные факторы) выполнена в ходе факторного анализа [10] с применением программного комплекса STATISTICA v.6.0 [16].

В результате в один комплексный фактор были объединены признаки, корреляции между которыми выражены в наибольшей степени. В конечном итоге это позволило представить исходное количество использованных нами на начальном этапе процесса исследований переменных (10 признаков) редуцированным их числом (3 главных компоненты). Последнее обстоятельство имело большое значение при обработке на завершающем этапе крупных обобщенных комплексов многомерных объектов, представленных 30 и даже 33 признаками – независимыми переменными. Кроме того, предполагается, что между сформированными комплексными факторами корреляция мала.

Данный аспект полезно учитывать при использовании для вычисления обобщенных метрик методов многомерного анализа, содержащих в расчетных алгоритмах обратную ковариационную матрицу. Их примером служит расстояние Махаланобиса [10–12]. Такие методы в ряде случаев не дают удовлетворительного результата, поскольку при высоких значениях коэффициентов корреляции определитель обратной ковариационной матрицы приближается к нулю или становится равным нулю. Это делает процедуру деления на такое число невозможной, в силу чего сама обратная ковариационная матрица становится вырожденной, приобретает свойства неустойчивости и неопределенности.

Обязательным условием являлось наличие у каждого из объектов, включенных в комплекс сравнения, полного набора всех анализируемых признаков. В противном случае объекты, не имеющие хотя бы одной из характеристик, исключались из комплекса [10–12]. Весовые коэффициенты признаков не вводились, исходя из представлений об их идентификационной равноценности. Поправки на неравномерность комплексов не применялись в силу одинаковой численности первоначальных учетов значений каждого параметра у всех многомерных объектов. Нами также обращалось внимание на то, что результаты группировки в кластеры в значительной степени зависят от того, какие признаки и в каком количестве включены в комплекс сравнения. При этом исходное число анализируемых параметров может быть достаточно большим со слабой корреляционной зависимостью между ними [10, 11, 12]. Решая задачу редукции числа переменных, формирующих многомерный комплекс, факторный анализ предполагает логическое обоснование их отнесения к тому или иному фактору. Это в свою очередь обеспечивает получение группировок переменных (в нашем случае анализируемых признаков пигментного состава фотосинтезирующего аппарата плюсовых деревьев), которым свойственны наиболее тесные связи. В реализованной схеме принято использование тех эффективных независимых факторов, начальные собственные значения которых превышают 1. Доля общей дисперсии, обусловленная их действием, должна быть не менее 70 % [10]. Для нахождения однозначного решения применен метод ортогонального вращения (метод варимакса), являющийся наиболее распространенным [10, 16].

В расчетах принимали участие стандартизированные исходные значения признаков, получаемые z-преобразованием, основанном на отношении отклонения значения признака от его средней величины к соответствующему стандартному отклонению:  $x_{\text{норм}} = (X_i - x_{\text{сред}}) / S_x$ . Здесь  $x$  – значения анализируемого признака;  $x_{\text{норм}}$  – нормированное значение признака;  $x_{\text{сред}}$  – среднее значение признака;  $x_i$  – текущее частное значение признака;  $S_x$  – среднее квадратическое отклонение признака.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Пигментный состав хвои, свойственный каждому из исследованных плюсовых деревьев, оказался весьма специфичным. Это проявилось как по признакам содержания отдельных пигментов (хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b*, каротиноидов), так и по их отношениям и суммарным значениям. Полученные матрицы коэффициентов корреляции фиксированного набора признаков пигментного состава хвои в учетах 2007 и 2008 гг. и для 1-летней и 2-летней хвои имели

весьма сходное наполнение оценками с хорошо прослеживаемой тенденцией общности тесноты связи между соответствующими анализируемыми показателями. Во всех случаях расчета корреляционных матриц их значения по одноименным парам сравнения оказались относительно близкими, что позволило признать устойчивым в хронологическом и онтогенетическом аспектах характер взаимозависимости между анализируемыми показателями.

Факторный анализ, выполненный по 10 признакам, оценивающим пигментный состав хвои, выявил высокую степень стабильности получаемых решений его основной задачи – редукции числа независимых переменных многомерного статистического комплекса с распределением их по факторам (см. табл).

Матрица повернутых компонент (ЛСП № 24)

Исходные признаки – независимые переменные	Варианты опыта: сроки учета и возраст хвои								
	2007 г. 1-летняя хвоя			2008 г. 1-летняя хвоя			2008 г. 2-летняя хвоя		
	Компонента			Компонента			Компонента		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Хлорофилл- <i>a</i> ( <i>a</i> )	0,976			0,932			0,851		
Хлорофилл- <i>b</i> ( <i>b</i> )	0,858			0,882			0,796		
Сумма хлорофилла ( <i>a+b</i> )	0,961			0,959			0,866		
Каротиноиды ( <i>k</i> )	0,652	-0,749		0,853	-0,461		0,918		
Отношение <i>a/k</i>		0,971			0,973			0,927	
Отношение <i>b/k</i>		0,865			0,918			0,893	
Доля хлорофилла- <i>a</i>			-0,989			0,991			-0,990
Доля хлорофилла- <i>b</i>			0,989			-0,991			0,992
Отношение <i>k/(a+b)</i>		-0,928			-0,891			-0,960	
Общая сумма пигментов	0,987			0,981			0,907		
Доля дисперсии компонент, %	53,41	27,18	18,81	49,43	31,49	17,35	57,42	27,3	15,08
Общая доля дисперсии главных компонент, %	99,4			98,27			99,75		

Материалы таблицы свидетельствуют о том, что характер отнесения исходных независимых переменных – признаков пигментации хвои – к трем комплексным факторам принципиально однотипен. В каждом из вариантов преобразования многомерных массивов хорошо прослеживаются общие тенденции. К первому фактору причислены признаки прямого количественного учета содержания пигментов в хвое: содержание хлорофилла-*a*; содержание хлорофилла-*b*; суммарное содержание хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*; содержание каротиноидов; суммарное содержание анализируемых пигментов. Они нагружают фактор с оценками 0,652 – 0,976. Ко второму фактору причислены относительные признаки с участием оценок содержания каротиноидов: отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов; отношение содержания хлорофилла-*b* к содержанию каротиноидов; отношение содержания каротиноидов к суммарному содержанию хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*. Третий фактор составили оценки доли участия разных форм хлорофилла в общей пигментации хвои: доля содержания хлорофилла-*a*; доля содержания хлорофилла-*b*. Вместе с тем удается заметить, что показатели, в той или иной форме учитывающие содержание каротиноидов, не всегда могут быть однозначно причислены к какому-либо фактору. В частности, содержание каротиноидов в первом и втором случаях учета может рассматриваться как в составе первого фактора, так и в составе второго. В остальных вариантах учета (и в разные годы, и с разновозрастной хвоей) наблюдается одно и то же число независимых факторов (компонент) – 3. Кроме того, во всех вариантах учета произошло включение одних и тех же исходных признаков в состав комплексных независимых факторов (компонент). При

этом соответствующие величины факторной нагрузки всех сформированных факторов хотя и велики, но, тем не менее, различаются.

Обоснованность такой редукции числа эффективных факторов в высокой степени велика: доля общей дисперсии, приходящейся на полученные в ходе факторного анализа три главные компоненты, составляет соответственно 99,40; 98,27; 99,75 %.

В соответствии с полученным результатом, сформированным комплексным факторам были присвоены свои логические метки (собственные названия). Фактор «1» назван «содержание основных пигментов»; фактор «2» получил название «соотношение между каротиноидами и формами хлорофилла»; фактор «3» был отмечен как «доля разных форм хлорофилла». Вместе с тем вполне понятно, что изменение числа переменных в многомерном комплексе вызовет неизбежные вариации исхода группировки.

Получив подтверждение стабильности тенденций в формировании факторов в группе исходных переменных, мы произвели объединение всех признаков в единый многомерный комплекс. В него вошли показатели содержания пигментов в 1-летней и 2-летней хвое в разные годы наблюдений (2007 и 2008 гг.). Сформированные в процессе факторного преобразования комплексные независимые переменные образовали собственный блок многомерных характеристик сравниваемых объектов. Так, весь набор исходных анализируемых признаков, насчитывающий 33 параметра, был представлен блоком, содержащим только восемь факторных параметров, представленных нормированными величинами. Они послужили основой проведения кластерного анализа и построения дендрограмм (рис. 1 и 2).

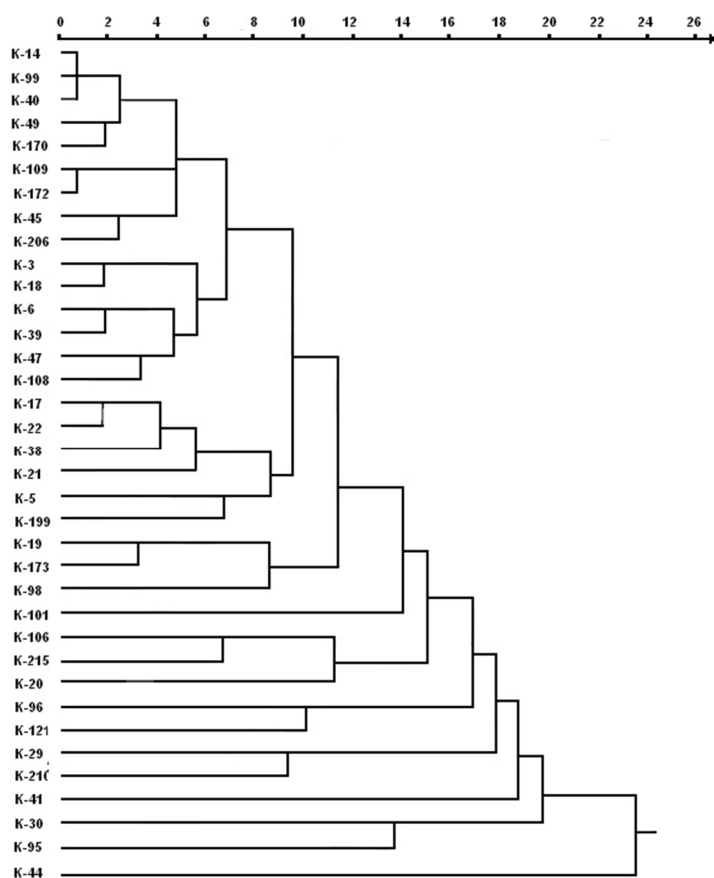


Рис. 1. Дендрограмма иерархической кластеризации плюсовых деревьев в составе ЛСП № 24 (ГБУ НО «Семеновский спецлесхоз»): квадрат евклидова расстояния при межгрупповом объединении по 8 главным факторам, полученным в результате преобразования обобщенного массива первичных значений (33 признака)

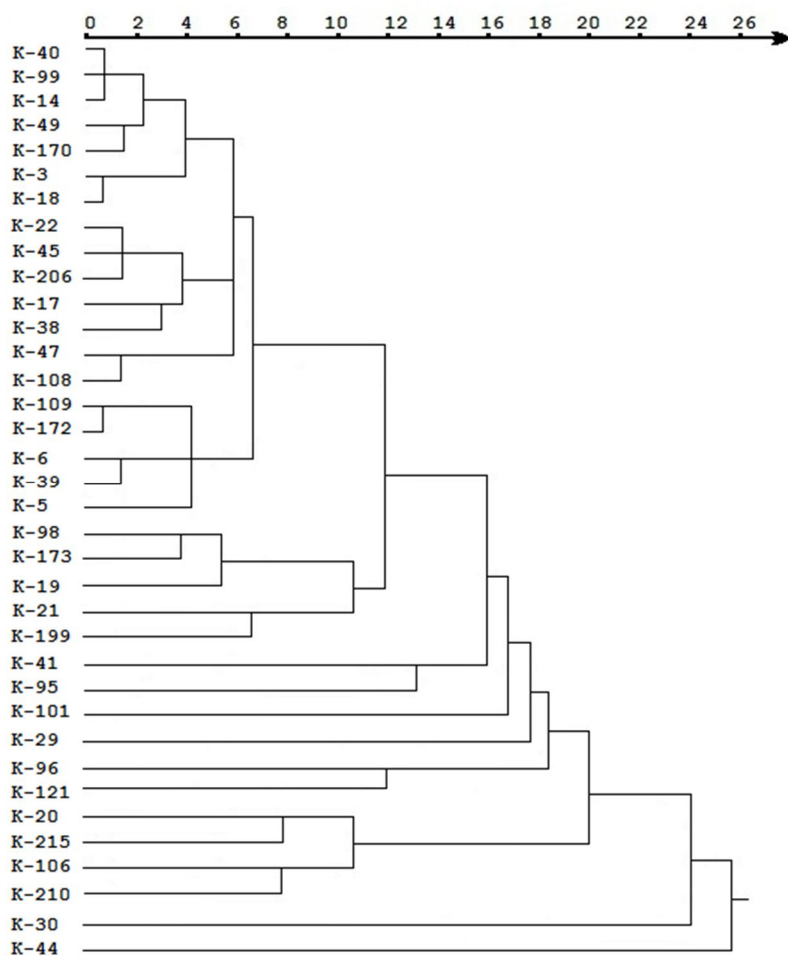


Рис. 2. Дендрограмма иерархической кластеризации плюсовых деревьев в составе ЛСП № 24 (ГБУ НО «Семеновский спецлесхоз»): квадрат евклидова расстояния при межгрупповом объединении по обобщенному массиву первичных значений пигментного состава хвои (2008 г.)

Дендрограммы, построенные по сформированным факторам (см. рис. 1), принципиально не отличались от аналогичных графических фигур, полученных на основе массива исходных признаков (см. рис. 2). В значительной мере близки по своей структуре были и дендрограммы, полученные на основе вычисления линейного евклидова расстояния и квадрата евклидова расстояния. Обнаруживаемые между ними различия невелики и непринципиальны. Интерпретация, приведенная ниже, дана по масштабным единицам графического построения фигур без учета коэффициентов их перевода в расчетные евклидовы дистанции.

На дендрограмме, построенной по результатам преобразования в ходе факторного анализа 33 исходных независимых переменных в восемь факторов (см. рис. 1), удается заметить ряд хорошо оформленных группировок – кластеров. В верхней (левой при горизонтальном рассмотрении) части расположен достаточно крупный макрокластер, содержащий в своем составе 15 из 36 плюсовых деревьев. Уровень окончательной агломерации в этот макрокластер близок семи единицам. В него входят два вполне плотных самостоятельных кластера, состоящих из девяти (К-14, К-99, К-40, К-49, К-170, К-109, К-172, К-45, К-206) и шести (К-3, К-18, К-6, К-39, К-47, К-108) объектов. При значении начальной агломерации около 1 единицы (объекты К-14, К-99, К-40 и объекты К-109, К-172) завершение их формирования происходит соответственно на уровне 5 и 6 единиц.

К первому макрокластеру с порогом агломерации, равным 10 единицам, примыкает следующий макрокластер, в который входят шесть плюсовых деревьев (К-17, К-22, К-38, К-21, К-5, К-199). Он также хорошо очерчен, хотя и менее плотен: агломерация объектов в нем завершена в пределах 9 единиц.

Остальные плюсовые деревья не образуют столь же хорошо оформленные группы. В их массе можно выделить несколько неплотных микрокластеров: первый объединил плюсовые деревья с индексами К-19, К-173, К-98; второй – К-106, К-215, К-20. Другие последовательно и относительно монотонно присоединяются к ранее сформированному ядру как индивидуально, так и в составе парных групп. Заметно отличается от остальных плюсовое дерево с индексом К-44. Его уровень присоединения к остальной группировке максимальный и составляет 25 масштабных единиц. Также заметно обособленными выступают плюсовые деревья К-95 и К-30, объединенные между собой на рубеже в 14 единиц и примыкающие к общему комплексу на уровне 21 единицы.

Полученная информация позволяет оценить весь комплекс анализируемых плюсовых деревьев, представленных на ЛСП № 24, с позиций «наиболее близкие–наиболее удаленные» по всему набору их характеристик. Установленная степень близости между ними по характеристикам пигментного состава хвои позволяет выявить группы наиболее сходных между собой образцов. К таковым могут быть отнесены, прежде всего, плюсовые деревья К-14, К-99, К-40, а также К-109 и К-172. Их уровень объединения в первичные микрокластеры близок к 1. При этом плюсовые деревья, вошедшие в первый микрокластер, заметно отличаются от тех, которые составили второй: объединение происходит на уровне более 5 единиц при диапазоне значений для всей процедуры кластеризации 25 единиц. В итоге весь ассортимент анализируемых плюсовых деревьев может быть представлен их группировками, различным образом удаленными одна от другой по установленному набору признаков. Аналогичные материалы были получены и на других объектах исследования: ЛСП № 1, ЛСП № 12; в архивах клонов № 1 и № 4. Повторение опытов в разные годы и на разновозрастной хвое подтвердили устойчивость наблюдаемых тенденций.

### **Выводы**

1. Исследованный комплекс плюсовых деревьев сосны обыкновенной неоднороден по пигментному составу хвои. Степень несовпадения их характеристик неодинакова, что позволяет обозначить группы объектов, относительно близких между собой по всему набору анализируемых показателей, – кластеры, притом, что между группами обнаруживаются хорошо заметные различия.

2. Получено подтверждение стабильности тенденций в формировании методом главных компонент независимых факторов в группах переменных, представляющих собой многочисленные характеристики пигментного состава хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной. Факторный анализ позволил выполнить редукцию числа показателей при принципиальном сохранении информативности данных, представленных в исходном комплексе. Результаты построения дендрограмм по сформированным факторам вполне адекватны итогам их построения по первичным данным.

3. Кластерный анализ позволил выполнить естественную группировку плюсовых деревьев по критериям сходства пигментного состава хвои. Установлены группы плюсовых деревьев, имеющие относительно близкие характеристики по всему перечню анализируемых признаков – содержанию различных форм хлорофилла и каротиноидов, их суммарному содержанию и соотношению между ними. Выявлены объекты, являющиеся наиболее отдаленными от других в их исследованной совокупности.

4. Оценки относительной близости плюсовых деревьев, определяемые их принад-

лежностью к общему или разным кластерам и местом в их структуре, создают возможность для обоснованного выбора и формирования родительских пар и диаллельных комплексов при скрещивании как по стратегии наибольшего сходства, так и по стратегии максимальной удаленности друг от друга.

5. Сведения о степени близости объектов позволят обоснованно подойти к выбору компонентов родительских пар и составлению диаллельных комплексов при планировании мероприятий по гибридизации. Это может иметь отношение как к гетерозисной селекции, так и к работам по гибридологическому анализу, необходимому для оценки селекционного качества плюсовых деревьев, отобранных по фенотипу. При формировании родительских пар, близких по пигментному составу хвои, в них следует включать плюсовые деревья, которые входят в один кластер. При осуществлении стратегии использования отдаленных по своим признакам родителей целесообразно ориентироваться на их принадлежность к разным кластерам.

### Список литературы

1. Ефимов, Ю.П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной / Ю.П. Ефимов. – Воронеж: Истоки, 2010. – 253 с.
2. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. Утв. Статс-секретарь, первый зам. руководителя Федеральной службы лесного хозяйства России М.Д. Гиряев, 11 января 2000 г. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 198 с.
3. Кундзиньш, А.В. Лесная селекция / А.В. Кундзиньш, Г.А. Игаунис, Я.Я. Гайлис, и др. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 200 с.
4. Озолина, И.А. Роль пигментов в защитно-приспособительных реакциях растений / И.А. Озолина, А.И. Мочалкин // Известия АН СССР. Сер. биол. – 1972. – № 1. – С. 96-102.
5. Мезенцева, В.Т. Сезонная динамика хлорофилла в хвое отдельных видов и экотипов лиственницы / В.Т. Мезенцева и др. // Известия вузов. Лесной журнал. – 1976. – № 6. – С. 132 - 135.
6. Тужилкина, В.В. Проективное содержание хлорофилла в коренных еловых фитоценозах / В.В. Тужилкина // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2009. – № 4. – С. 30-32.
7. Барская, Е. И. Изменения хлоропластов и вызревание побегов в связи с морозостойкостью древесных растений / Е.И. Барская. – М.: Наука, 1967. – 223 с.
8. Новицкая, Ю.Е. Особенности физиолого-биохимических процессов в хвое и побегах ели в условиях Севера / Ю.Е. Новицкая. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1971. – 117 с.

### References

1. Efimov, Yu.P. Semennye plantatsii v selektsii i semenovodstve sosny obyknovennoy [Seed plantations in selection and seed farming of a Scots pine]. Voronezh: Istoki, 2010. 253 p.
2. Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiyskoy Federatsii [Guidelines on forest seed farming in the Russian Federation]. Validated by the secretary of state, First Deputy Head of Federal Service of Forestry in Russia M. D. Giryayev, January 11, 2000. M: VNIITSlesresurs, 2000. 198 p.
3. Kundzin'sh A.V., Igaunis G.A., Gaylis Ya.Ya., et al. Lesnaya selektsiya [Forest selection]. M.: Lesnaya promyshlennost, 1972. 200 p.
4. Ozolina I.A., Mochalkin A.I. Rol' pigmentov v zashchitno-prisposobitel'nykh reaktsiyakh rasteniy [The role of pigments in protective and adaptive reactions of plants]. Izvestiya AN SSSR. Ser.biol. [News of the Academy of Sciences in the USSR. Ser.biol.] 1972. No 1. P. 96-102.
5. Mezentseva V.T. et al. Sezonnaya dinamika khlorofilla v khvoe otdel'nykh vidov i ekotipov listvennitsy [Seasonal dynamics of a chlorophyll in needles of certain types and ecotypes of larch]. Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal [News of higher education institutions. Forest magazine]. 1976. No 6. P. 132 - 135.
6. Tuzhilkina V.V. Proektivnoe sodержanie khlorofilla v korennykh elovykh fitotsenozakh [The projective contents of chlorophyll in radical fir-tree phytocenosis]. Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN [Vestnik of the Institute of biology in Komi NTs UrO Russian Academy of Sciences]. 2009. No 4. P. 30-32.
7. Barskaya E. I. Izmeneniya khloroplastov i vyzrevanie pobegov v svyazi s morozoustoychivost'yu drevesnykh rasteniy [Measurtment of chloroplast and offshoots maturation dependent on frost resistance of wood plants]. M.: Nauka. 1967. 223 p.
8. Novitskaya Yu.E. Osobennosti fiziologo-biokhimicheskikh protsessov v khvoe i pobegakh eli v usloviyakh Severa [Peculiarities of physiological and biochemical processes in needles and fir-tree offshoots in the North]. L.: Nauka, Leningradskoe otделение, 1971. 117 p.

9. *Duysens, L.* Mechanism of two photochemical reaction in algae as studied by means of fluorescence / L. Duysens, H.E. Sweers // *Studies on microalgae and photosynthetic bacteria.* – Tokyo: Univ. Tokyo press, 1963. – P. 353-372.
10. *Никитин, К.Е.* Методы и техника обработки лесоводственной информации / К.Е. Никитин, А.З. Швиденко. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 272 с.
11. *Петров, С.А.* Рекомендации по использованию генетико-статистических методов в селекции лесных пород на продуктивность / С.А. Петров. – Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1984. – 43 с.
12. *Мандель, И.Д.* Кластерный анализ / И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
13. *Ермаков, И.А.* Методы биохимических исследований растений / И.А. Ермаков, В.В. Арасимович, М.И. Смирнова-Иконникова, И.К. Мурри. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1952. – 520 с.
14. *Шлык, А.А.* Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А.А. Шлык // *Биологические методы в физиологии растений.* – М.: Наука, 1971. – С. 154-170.
15. *Максимов, Г.Л.* Методы биохимического анализа растений / Г.Л. Максимов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 192 с.
16. *Халафян, А.А.* STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А.А. Халафян; 3-е изд. – М.: ООО «Бином Пресс», 2007. – 512 с.
9. *Duysens, L., Sweers H.E.* Mechanism of two photochemical reaction in algae as studied by means of fluorescence. *Studies on microalgae and photosynthetic bacteria.* Tokyo: Univ. Tokyo press, 1963. P.353-372.
10. *Nikitin K.E., Shvidenko A.Z.* Metody i tekhnika obrabotki lesovodstvennoy informatsii [Methods and equipment of processing of forestry information]. M.: Lesnaya promyshlennost', 1978. 272 p.
11. *Petrov S.A.* Rekomendatsii po ispol'zovaniyu genetiko-statisticheskikh metodov v selektsii lesnykh porod na produktivnost'[Guidelines to use genetic and statistical methods in selection productive forest species]. Voronezh: TsNIILGiS, 1984. 43 p.
12. *Mandel' I.D.* Klasternyy analiz [Cluster analysis]. M.: Finansy i statistika, 1988. 176 p.
13. *Ermakov I.A., Arasimovich V.V., Smirnova-Ikonnikova M.I., Murri K.I.* Metody biokhimicheskikh issledovaniy rasteniy [Methods of biochemical researches plants]. M.-L.: Sel'khozgiz, 1952. 520 p.
14. *Shlyk A.A.* Opredelenie khlorofillov i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev [Defining chlorophyll and carotinoids in green leaves extracts]. *Biologicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biological methods in plant physiology]. M.: Nauka, 1971. P. 154-170.
15. *Maksimov G.L.* Metody biokhimicheskogo analiza rasteniy [Methods of biochemical analysis of plants]. L.: Publishing house LGU, 1978. 192 p.
16. *Khalafyan A.A.* STATISTICA 6. Statisticheskii analiz dannykh [STATISTICA 6. Statistical analysis of data]; 3rd prod. M.:OOO «Binom Press», 2007. 512 p.

Статья поступила в редакцию 08.11.11.

*БЕССЧЕТНОВА Наталья Николаевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия (Российская Федерация, Нижний Новгород). Область научных интересов – проблемы эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала плюсовых деревьев основных лесобразующих пород, селекция сосны обыкновенной. Автор 45 публикаций.  
E-mail: besschetnoval966@mail.ru

*BESSCHETNOVA Natalia Nikolaevna* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Forest Cultures, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy (Russian Federation, Nizhny Novgorod). Scientific interests – issues of forest selection efficiency and improvement of selection potential for plus trees of the main forest forming species, selection of Scots pine. Author of 45 publications.  
E-mail: besschetnoval966@mail.ru



N. N. Besschetnova

### MULTIDIMENSIONAL ASSESSMENT OF SCOTS PINE PLUS TREES USING INDICATORS OF NEEDLE PIGMENT STRUCTURE

**Key words:** Scots pine; plus trees; clones; needle pigments; chlorophyll; carotinoids; factorial analysis; cluster analysis.

*The existing system of mass selection of plus trees using a phenotype can be considerably improved by means of extending the list of descriptors used as selection criteria. According to some authors, the amount of pigments in pine needles depends on the tree resistance limiting environmental factors. This approach used to assess the selection results requires thorough employment of multidimensional complex analysis of biological objects.*

*The paper is aimed at obtaining multidimensional complex analysis of Scots pine plus trees using complex indicators of needle pigment structure and defining generalized statistic proximity of the analyzed items based on this data.*

*Clones of Scots pine plus trees were used as the object of research, generally concentrated in archives and on forest seed plantations in Nizhny Novgorod area. The content of pigment in needles was defined using traditional methods.*

*A number of indicators were joined into one complex factor based on the correlations between them. As a result it was possible to present the reference quantity of variables used at the initial stage research (10 indicators) reduced by their number (3 main components). The latter was of great importance especially at the finishing stage when processing large generalized complexes of multidimensional units represented by 30 or even 33 indicators – independent variables. It is expected that correlation is low between these generated complex factors.*

*The pigment contents of needles present in every plus tree under study, was very specific. It was revealed in both: the indicators of certain pigment content (a chlorophyll-a, a chlorophyll-b, carotinoids) and their relations and total values. The degree of discrepancy in their characteristics wasn't identical that allowed to combine the groups of objects relatively close in terms of all analyzed indicators into clusters, besides there are well noticeable distinctions between the groups.*

*The stability of tendencies in formation of independent factors in groups of variables representing numerous characteristics of pigment contents of needles by the method of principal components was obtained. The factorial analysis allowed to reduce a number of indicators while conserving data informational content presented in the source complex.*

*Cluster analysis allowed to group plus trees by the similarity of pigment contents in needles. The groups of plus trees having rather close characteristics in all the analyzed indicators i.e. contents of various forms of chlorophyll and carotinoids, their total contents and a ratio between them. The objects that are mostly different from the population under study were identified.*

*Estimates of relative proximity for plus trees, defined by their belonging to common or different clusters and the place in their structure, make it possible to make a well grounded choice when selecting parental combination and diallel complexes when crossing both based on maximum similarity as well as maximum difference between objects.*