

Научная статья

УДК 635.92:632.937.31:582.477.2

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-28-43

## Пигментный состав хвои можжевельника при интродукции в Нижегородское Поволжье

**Н.Н. Бессчетнова**<sup>1</sup>✉, *д-р с.-х. наук*; ResearcherID: [H-1343-2019](https://orcid.org/0000-0002-7140-8797),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

**В.П. Бессчетнов**<sup>1</sup>, *д-р биол. наук*; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-7464>

**Н.А. Бабич**<sup>2</sup>, *д-р с.-х. наук*; ResearcherID: [G-7384-2019](https://orcid.org/0000-0001-7463-2519),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7463-2519>

**А.С. Вилков**<sup>1</sup>, *ассистент*; ResearcherID: [NVM-7287-2025](https://orcid.org/0009-0006-4586-1957),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4586-1957>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный агротехнологический университет, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; [besschetnova1966@mail.ru](mailto:besschetnova1966@mail.ru)✉, [lesfak@bk.ru](mailto:lesfak@bk.ru), [and.vilckow@yandex.ru](mailto:and.vilckow@yandex.ru)

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; [forest@narfu.ru](mailto:forest@narfu.ru)

Поступила в редакцию 21.02.25 / Одобрена после рецензирования 19.05.25 / Принята к печати 20.05.25

**Аннотация.** Исследовали сортовую специфику пигментного состава хвои представителей рода Можжевельник (*Juniperus* L.) при интродукции в Нижегородское Поволжье. Актуальность работы обусловлена острой потребностью в создании эффективно действующих систем озеленения городов с обеспечением стабилизации экологической обстановки на урбанизированных территориях. Объектом изучения служили репродуктивно зрелые растения декоративных форм и сортов можжевельника на опытном участке с координатами 56°14'30" с. ш. 43°57'16" в. д. Предметом стало содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое тестируемых растений. Первичная информация собрана полевым стационарным и лабораторным методами с использованием спектрофотометра СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. Фиксировали максимумы спектров поглощения хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов при длинах волн 665, 649 и 452,5 нм соответственно. Концентрации указанных веществ вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма для 96%-го этанола. Установлена заметная фенотипическая неоднородность сравниваемых форм и сортов по пигментному составу ассимиляционного аппарата. Так, по общей сумме светочувствительных пигментов типичная форма можжевельника казацкого (2,86±0,072 мг/г) значительно превосходила сорт Минт Джулеп (2,30±0,078 мг/г). Фенотипические различия, зафиксированные в опыте, оказались существенными по всем рассматриваемым характеристикам фотосинтетического аппарата, что выявил дисперсионный анализ:  $F_{оп} = 8,14...47,78$  ( $F_{05/01} = 1,98/2,60$ ). Влияние межсортовых различий на фенотипическую дисперсию лежит в пределах от 23,16±2,85 % (сумма пигментов) до 63,89±1,34 % (доля хлорофилла *a* в пигментном составе). Кластерный анализ с построением дендрограмм сгруппировал исследуемые сортообразцы в 3 разновеликих кластера.

**Ключевые слова:** можжевельник, *Juniperus* L., хвоя, пигментный состав, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, дисперсионный анализ, кластерный анализ

© Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич Н.А., Вилков А.С., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

*Для цитирования:* Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич Н.А., Вилков А.С. Пигментный состав хвои можжевельника при интродукции в Нижегородское Поволжье // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 28–43. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-28-43>

Original article

## Pigment Composition of Juniper Needles During Introduction to the Nizhny Novgorod Volga Region

*Natalia N. Besschetnova*<sup>1✉</sup>, *Doctor of Agriculture*; ResearcherID: [H-1343-2019](https://orcid.org/0000-0002-7140-8797),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

*Vladimir P. Besschetnov*<sup>1</sup>, *Doctor of Biology*; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-7464>

*Nikolai A. Babich*<sup>2</sup>, *Doctor of Agriculture*; ResearcherID: [G-7384-2019](https://orcid.org/0000-0001-7463-2519),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7463-2519>

*Andrei S. Vilcov*<sup>1</sup>, *Assistant*; ResearcherID: [NVM-7287-2025](https://orcid.org/0009-0006-4586-1957),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4586-1957>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technological University, prosp. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107; [besschetnova1966@mail.ru](mailto:besschetnova1966@mail.ru)<sup>✉</sup>, [lesfak@bk.ru](mailto:lesfak@bk.ru), and [vilckow@yandex.ru](mailto:vilckow@yandex.ru)

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russian Federation, 163002; [forest@narfu.ru](mailto:forest@narfu.ru)

---

*Received on February 21, 2025 / Approved after reviewing on May 19, 2025 / Accepted on May 20, 2025*

---

**Abstract.** The varietal specificity of representatives of the genus Juniper (*Juniperus* L.) in the pigment composition of needles during introduction to the Nizhny Novgorod Volga region was studied. The relevance of the work is due to the urgent need to create effective urban landscaping systems that ensure the stabilization of the environmental background in urbanized areas. The object of the study was reproductively mature plants of ornamental forms and varieties representing a number of species in the genus under consideration. The accounting plants are located at the experimental site with coordinates 56°14'30" N, 43°57'16". The subject of the study was the content and ratio of plastid pigments in the needles of the tested plants. The primary information was collected by a stationary field and laboratory method using an SF-2000 spectrophotometer with GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 software. The absorption spectra of chlorophyll-*a*, chlorophyll-*b*, and carotenoids were recorded at wavelengths of 665, 649, and 452.5 nm, respectively. The concentrations of these substances were calculated using the Wetstein and Holm equations for 96 % ethanol. A noticeable phenotypic heterogeneity of the compared forms and varieties in the pigment composition of the assimilation apparatus has been established. Thus, in terms of the total amount of photosensitive pigments, the results of the typical form of Cossack juniper (2.86±0.072 mg/g) significantly exceeded the corresponding parameter of the Mint Julep variety (2.30±0.078 mg/g). The phenotypic differences recorded in the experiment turned out to be significant for all the characteristics of the photosynthetic apparatus under consideration, as revealed by the analysis of variance:  $F_{\text{exp}} = 8.14...47.78$  ( $F_{0.05/0.01} = 1.98/2.60$ ). The effect of intersort differences in the formation of phenotypic dispersion was determined in the range from 23.16±2.85 % (total amount of pigments) to 63.89±1.34 % (proportion of chlorophyll-*a* in the total pigment composition). Cluster analysis with the construction of dendrograms grouped the studied cultivars into 3 clusters of different sizes.

**Keywords:** juniper, *Juniperus* L., needles, pigment composition, chlorophyll-*a*, chlorophyll-*b*, carotenoids, analysis of variance, cluster analysis

**For citation:** Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Vilkov A.S. Pigment Composition of Juniper Needles During Introduction to the Nizhny Novgorod Volga Region. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 28–43. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-28-43>

### Введение

Рост масштабов загрязнения атмосферы Земли, в т. ч. парниковыми газами, представляет собой проблему глобального характера [12, 14]. Данные процессы касаются и воздушного бассейна населенных мест, в которых многоуровневые системы озеленения рассматриваются как эффективное средство ослабления экологической напряженности [14, 18]. Их ядром традиционно признаются насаждения из деревьев и кустарников различного функционала и конструкций [16]. Для обеспечения наиболее полной реализации насаждениями санитарно-гигиенических, декоративно-эстетических и рекреационно-бальнеологических функций в их состав вводятся представители инорайонной дендрофлоры [4, 10, 17]. В число привлекаемых видов входят декоративные формы и сорта рода Можжевельник (*Juniperus* L.), хорошо зарекомендовавшие себя на обширной территории Евразии, включая Российскую Федерацию. В таксономическом плане они относятся к однодомным либо двудомным растениям семейства Кипарисовые (Cupressaceae Gray) и в границах ареала используются в хозяйственной сфере, преимущественно в озеленении и паркостроении. Имея жизненную форму дерева, крупного или стелющегося кустарника, успешно вписываются в городской ландшафт. Однако значительный список аспектов их практического применения в Нижегородском Поволжье освящен недостаточно. Весомым фактором, сдерживающим массовое привлечение перспективных экзотов для решения обозначенных задач, является отсутствие достаточного объема сведений об особенностях их биологии в местах расселения. По этой причине в регионе востребованы исследования признаков, имеющих не только хозяйственное, но и адаптационное или идентификационное значение.

Цель исследования – выявить видоспецифичность пигментного состава хвои представителей рода Можжевельник в условиях городских посадок при интродукции в Нижегородское Поволжье.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили репродуктивно зрелые растения декоративных форм и сортов видов рода Можжевельник: сорт 1 – М. казацкий тамариксолистный (*J. sabina* L. var. *Tamariscifolia*); сорт 2 – М. чешуйчатый, сорт Блю Карпет (*J. squamata* Lamb. var. *'Blue Carpet'*); сорт 3 – М. чешуйчатый, сорт Майери (*J. squamata* Lamb. var. *'Meyeri'*); сорт 4 – М. средний, сорт Минт Джулеп (*J. ×media* Van Melle var. *'Mint Julep'*); сорт 5 – М. казацкий, типичная форма (*J. sabina* L. *typical form*); 6 – М. горизонтальный, сорт Джейд Ривер (*J. horizontalis* Moench var. *Jade River*); сорт 7 – М. скальный, сорт Блю Эрроу (*J. scopulorum* Sarg. var. *'Blue Arrow'*); сорт 8 – М. виргинский, сорт Грей Оул (*J. virginiana* L. var. *'Grey Owl'*); сорт 9 – М. обыкновенный, типичная форма (*J. communis* L. *typical form*). Изученные растения дислоцированы на коллекционном участке Нижегородского государственного агротехнологического университета с координатами 56°14'30" с. ш. 43°57'16" в. д. и абсолютной высотой 141 м. Территория принадле-

жит к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Сложившиеся здесь лесорастительные условия благоприятны для большого числа видов хвойных деревьев и кустарников, включая интродуценты, в частности представителей анализируемого в нашей работе ассортимента [1–3].

Методологической платформой исследования служили принципы единственного логического различия, типичности, пригодности, надежности и целесообразности опыта. Для каждого сорта (декоративной или типичной формы) установлена одинаковая агротехника посадки и выращивания, использован однотипный вид исходного материала (5-летние черенковые саженцы в 5-кратной повторности). Единые схемы рандомизированного размещения рассматриваемых объектов на местности позволили реализовать принципы случайности, равномерности и повторяемости учетных растений. Устранение возможного влияния хронографического фактора на формирование их фенотипической изменчивости обеспечивалось сравнением только одновозрастных образцов – и растений, и одновременно заготовки на них 1-летней хвои. Элиминация дифференцирующего эффекта пестроты экологических условий достигалась сравнением объектов и отделяемых от них биологических проб только в пределах одного опытного участка. Соблюдение указанных требований исключало возможность преимуществ в условиях произрастания и формирования морфометрических и физиологических характеристик для какого-либо из объектов. Теоретическим постулатом при выдвижении гипотезы о возможности интродукции представителей рода Можжевельник (*Juniperus* L.) в Среднее Поволжье и перспективности их интеграции в хозяйственное использование служили сведения о местном климате и почвах [1–3], об обнадеживающих результатах переноса в регион экземпляров близкородственных видов и родов семейства кипарисовые, в частности, биоты восточной (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) [6, 13], туи западной (*Thuja occidentalis* L.) [7], туевика поникающего (*Thujopsis dolabrata* (Thunb. ex L. f.) [15] и собственно можжевельника (*Juniperus* L.) [21], продемонстрировавших достаточный адаптационный потенциал и положительный итог семенного и вегетативного размножения.

Исследование проведено полевым стационарным и лабораторным методами с учетом апробированных методических схем организации работ и построения выборок. Предметом выступала специфика содержания и баланса пластидных пигментов в хвое форм и сортов можжевельника. Побеги для ее заготовки отбирали в периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны, отбраковывая образцы с видимыми аномалиями развития и признаками поражения биотическими или абиотическими факторами. Методики лабораторного опыта были построены на классических работах в указанной сфере [30–32, 34, 36, 38]. Техническим средством исследования служил отечественный спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. Максимумы спектров поглощения хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов отмечали при длинах волн 665, 649 и 452,5 нм соответственно [22]. Учитывая возможность их некоторого смещения под влиянием оптических свойств экстрагента использовали его эталон, а концентрации веществ в сырой массе хвои вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма для 96%-го этанола [22, 31, 34, 38]. Сырую и абсолютно сухую массу навески определяли на прецизионных аналитических весах Acculab Vicon VIC-300d3 с точностью до 0,001 г. Помимо

установления непосредственных показателей концентрации пластидных пигментов расчетным путем находили отношение содержания хлорофиллов *a* и *b* к содержанию каротиноидов, их долю в пигментном составе, общее количество пигментов и другие параметры. Такой прием является общепринятым [29, 30, 31, 36], а использование производных признаков традиционно в лесоводственных [9, 11, 20, 25, 26] и биологических [8, 24] исследованиях.

Статистическая обработка первичной лесоводственной информации выполнена в соответствии с методическими рекомендациями отечественных [19] и зарубежных авторов [27, 37]. Кластерный и факторный анализы проведены по обычно используемым алгоритмам [19].

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Расположенные на опытном участке особи (биологический возраст 15 лет) демонстрировали заметную фенотипическую неоднородность в содержании и соотношении пигментов ассимиляционного аппарата, что зафиксировано по всем анализируемым признакам как между последовательно сравниваемыми формами и сортами, так и на уровне индивидуальной изменчивости в границах формы/сорта.

Так, по содержанию хлорофилла *a* (табл. 1) сравниваемые формы и сорта демонстрировали заметную фенотипическую неоднородность. Наибольшее среднее значение принадлежит сорту Grey Owl можжевельника виргинского, а наименьшее – типичной форме можжевельника обыкновенного. Разница составила 0,34 мг/г, или 1,449 раза. Аналогичные оценки других сортов с той или иной степенью плотности были сосредоточены вокруг обобщенного для них значения  $0,92 \pm 0,011$  мг/г.

Таблица 1

**Содержание хлорофилла *a* в хвое можжевельника**  
**Chlorophyll-*a* content in juniper needles**

Сорт	M	СКО	max	min	$\Delta$ lim	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
1	1,03	0,14	1,34	0,76	0,58	0,028	13,43	37,24	2,69
2	1,03	0,15	1,59	0,86	0,73	0,031	15,04	33,23	3,01
3	0,94	0,16	1,38	0,74	0,64	0,033	17,41	28,72	3,48
4	0,92	0,08	1,07	0,79	0,28	0,016	8,70	57,50	1,74
5	0,89	0,13	1,21	0,70	0,52	0,026	14,48	34,52	2,90
6	0,84	0,07	1,05	0,72	0,33	0,015	8,89	56,24	1,78
7	0,79	0,04	0,86	0,71	0,15	0,009	5,65	88,53	1,13
8	1,11	0,12	1,38	0,88	0,49	0,024	10,80	46,29	2,16
9	0,76	0,09	1,01	0,63	0,37	0,019	12,22	40,91	2,44
<i>Общее</i>	0,92	0,16	1,59	0,63	0,96	0,011	17,17	87,35	1,14

Примечание: M – среднее, мг/г; СКО – среднеквадратическое отклонение, мг/г; max, min – абсолютные максимум и минимум соответственно, мг/г;  $\Delta$ lim – диапазон лимитов, мг/г;  $\pm m$  – ошибка выборочного среднего, мг/г; Cv – коэффициент вариации, %; P – точность опыта, %; t – t-критерий Стьюдента; число первичных единиц выборки каждого сортаобразца – 25.

Накопление хлорофилла *b* (табл. 2) в клетках ассимиляционного аппарата при заметном разбросе в целом мало зависело от предыдущего показа-

теля:  $\bar{x} \pm m_x = 0,0397 \pm 0,2771$  ( $t_x = 0,14$ ). При этом его наивысшая концентрация ( $1,76 \pm 0,055$  мг/г), зафиксированная у типичной формы можжевельника казацкого, в 1,742 раза, или на 0,75 мг/г, превосходила наименьшую ( $1,01 \pm 0,054$  мг/г), наблюдавшуюся у тамариксолистной формы того же вида. Итоговое для всего комплекса форм и сортов среднее, достигшее  $1,37 \pm 0,025$  мг/г, равноудалено от указанных предельных значений.

Таблица 2

**Содержание хлорофилла *b* в хвое можжевельника**  
**Chlorophyll-*b* content in juniper needles**

Сорт	M	СКО	max	min	$\Delta$ lim	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
1	1,01	0,27	1,91	0,64	1,27	0,054	26,42	18,92	5,28
2	1,46	0,41	2,40	0,85	1,56	0,082	28,11	17,78	5,62
3	1,56	0,47	2,62	0,90	1,73	0,093	29,98	16,68	6,00
4	1,09	0,30	1,63	0,61	1,02	0,061	27,69	18,05	5,54
5	1,76	0,28	2,29	1,07	1,23	0,055	15,68	31,90	3,14
6	1,25	0,17	1,72	0,97	0,74	0,034	13,60	36,76	2,72
7	1,50	0,20	1,91	1,20	0,71	0,040	13,46	37,15	2,69
8	1,15	0,17	1,39	0,79	0,61	0,033	14,32	34,91	2,86
9	1,57	0,28	2,11	1,17	0,94	0,057	17,97	27,83	3,59
<i>Общее</i>	1,37	0,38	2,62	0,61	2,01	0,025	27,65	54,25	1,84

Присутствие в хвое рассматриваемых растений каротиноидов (табл. 3) зависело от наличия в ней зеленых пигментов:  $\bar{x} \pm m_x = 0,6328 \pm 0,2148$  (хлорофилл *a*) и  $\bar{x} \pm m_x = -0,4610 \pm 0,2461$  (хлорофилл *b*). Такая теснота связи по шкале Чеддока оценивалась как положительная заметная в первом случае и отрицательная умеренная – во втором. Содержание указанных пигментов ограничено оценками от  $0,14 \pm 0,008$  мг/г у типичной формы можжевельника обыкновенного до  $0,31 \pm 0,012$  мг/г у тамариксолистной формы можжевельника казацкого. На фоне обобщенного по всем формам и сортам значения ( $0,25 \pm 0,005$  мг/г) различия между ними достигли 0,17 мг/г, или 2,235 раза.

Таблица 3

**Содержание каротиноидов в хвое можжевельника**  
**Carotenoid content in juniper needles**

Сорт	M	СКО	max	min	$\Delta$ lim	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
1	0,31	0,06	0,46	0,22	0,24	0,012	18,99	26,33	3,80
2	0,30	0,06	0,46	0,21	0,25	0,012	19,34	25,86	3,87
3	0,25	0,06	0,41	0,12	0,29	0,012	24,22	20,64	4,84
4	0,29	0,04	0,37	0,21	0,15	0,009	14,80	33,79	2,96
5	0,21	0,07	0,42	0,13	0,29	0,013	32,07	15,59	6,41
6	0,26	0,04	0,33	0,20	0,13	0,007	13,74	36,38	2,75
7	0,21	0,03	0,27	0,15	0,12	0,006	13,49	37,05	2,70
8	0,30	0,06	0,42	0,19	0,23	0,011	18,59	26,90	3,72
9	0,14	0,04	0,21	0,06	0,15	0,008	28,85	17,33	5,77
<i>Общее</i>	0,25	0,07	0,46	0,06	0,40	0,005	29,19	51,39	1,95

В большинстве случаев полученные сведения статистически достоверны: расчетный *t*-критерий Стьюдента превосходил минимально допустимые показатели на принятом уровне значимости, а относительная ошибка опыта не превышала критический 5%-й предел. По остальным признакам были установлены сходные взаимозависимости и аналогичные соотношения для испытываемых сортообразцов при индивидуальности каждого из них.

Поскольку все обнаруженные в ходе наблюдений фенотипические различия между формами и сортами сформировались на фоне выровненных условий их произрастания – климатических, почвенных, пространственно-временных, технологических и прочих, то возникла возможность признать эндогенный характер их причин. Результаты однофакторного дисперсионного анализа подтвердили это (табл. 4). Существенность обнаруженных различий обосновывается фактическими критериями Фишера ( $F_{\text{он}} = 8,14 \dots 47,78$ ), которые превысили минимально допустимый предел как на 5%-м, так и на 1%-м уровнях значимости ( $F_{05/01} = 1,98/2,60$ ). На этом основании вычисляли эффективность организованного фактора (в нашем случае – межсортные различия) при формировании общего фона фенотипической дисперсии. В расчетах по алгоритму Плохинского наибольшие величины характерны для оценок долевого участия в пигментном составе хлорофиллов *a* и *b*:  $h^2 \pm s_h^2 = 63,89 \pm 1,34$  % ( $F_h^2 = 47,78$ ) и  $h^2 \pm s_h^2 = 63,58 \pm 1,35$  % ( $F_h^2 = 47,13$ ) соответственно. Наименьшие – для оценок суммарного содержания пластидных пигментов:  $h^2 \pm s_h^2 = 25,74 \pm 2,75$  % при  $F_h^2 = 9,36$  (сумма хлорофиллов *a* и *b*) и  $h^2 \pm s_h^2 = 23,16 \pm 2,85$  % при  $F_h^2 = 8,14$  (общая сумма пигментов). Алгоритм Снедекора дал сопоставимый (и даже несколько больший) результат.

Таблица 4

**Существенность различий в пигментном составе хвои форм и сортов можжевельника**  
**Significance of differences in needle pigment composition among juniper forms and cultivars**

Признак	Критерий Фишера $F_{\text{он}}$	Доля влияния фактора ( $h^2 \pm s_h^2$ )				Критерий различий	
		по Плохинскому		по Снедекору			
		$h^2$	$\pm s_h^2$	$h^2$	$\pm s_h^2$	$HCP_{05}$	$D_{05}$
1	24,27	0,4734	0,0195	0,4821	0,0192	0,065	0,105
2	18,28	0,4037	0,0221	0,4087	0,0219	0,166	0,269
3	9,36	0,2574	0,0275	0,2505	0,0278	0,204	0,329
4	30,60	0,5312	0,0174	0,5421	0,0170	0,028	0,046
5	37,68	0,5826	0,0155	0,5947	0,0150	0,095	0,154
6	15,23	0,3607	0,0237	0,3628	0,0236	0,663	1,071
7	26,87	0,4988	0,0186	0,5086	0,0182	1,708	2,757
8	47,78	0,6389	0,0134	0,6517	0,0129	0,020	0,033
9	47,13	0,6358	0,0135	0,6485	0,0130	0,030	0,049
10	32,21	0,5440	0,0169	0,5552	0,0165	0,012	0,020
11	31,20	0,5361	0,0172	0,5471	0,0168	0,015	0,025
12	8,14	0,2316	0,0285	0,2222	0,0288	0,204	0,330

Примечание:  $F_{05/01}$ ,  $F_{\text{он}}$  – табличный и расчетный критерии Фишера соответственно ( $F_{05/01} = 1,98/2,60$ );  $h^2 \pm s_h^2$  – доля влияния фактора с ошибкой;  $F_h^2$  – достоверность влияния фактора;  $HCP_{05}$  – наименьшая существенная разность;  $D_{05}$  – критерий Тьюки; число учетов каждого признака – 225 первичных единиц выборки; общий объем базы данных – 2700 дата-единиц.

Признаки 1, 2 – содержание хлорофиллов *a* и *b* соответственно; 3 – суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b*; 4 – содержание каротиноидов; 5–7 – отношение содержания хлорофиллов *a* и *b*, хлорофилла *a* и каротиноидов, хлорофилла *b* и каротиноидов соответственно; 8–10 – доли хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов соответственно; 11 – отношение содержания каротиноидов к сумме хлорофиллов *a* и *b*; 12 – общее содержание пластидных пигментов.

В целом удается заключить, что межсортовые различия содержания и отношения пластидных пигментов, связанные с видоспецифичностью растений, велики и неодинаковы в разрезе тестируемых признаков. Последнее обстоятельство может служить свидетельством разницы в глубине контроля со стороны генотипа над их фенотипическим проявлением.

Исход предшествующих этапов работы (см. табл. 1–4) сделал возможной комплексную оценку степени сходства/различий рассматриваемых сортообразцов с привлечением методов многопараметрических сравнений. Факторный анализ позволил сгруппировать 12 исходных характеристик пигментного состава хвои в 2 независимые главные компоненты.

Отсечение переменных, начальные собственные значения которых были ниже 1 и в большинстве приближены к 0, надежно (рис. 1). При этом начальные собственные значения вычлененных в указанном порядке главных компонент оказались ощутимо выше критического уровня, равного 1. В каждую из них вошли переменные, описывающие пигментный состав хвои исследуемых растений, корреляции между которыми минимальны. При этом внутри одной компоненты объединены наиболее взаимосвязанные признаки.

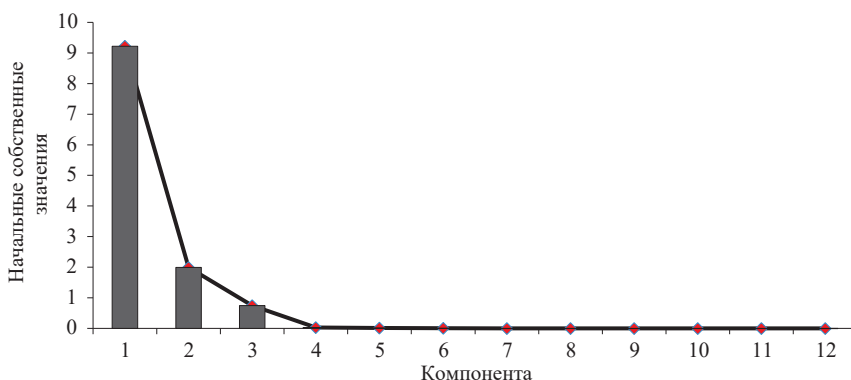


Рис. 1. Отсечение главных компонент факторного анализа пигментного состава

Fig. 1. Clipping of the principal components of the factor analysis of pigment composition

Распределение исходных переменных пигментации хвои по главным компонентам произошло вполне логично (табл. 5). Первая объединила характеристики концентраций, их соотношения и доли участия пигментов, вторая – характеристики, связанные с содержанием хлорофилла *b*. Редукция начального числа действенных факторов выполнена обоснованно: доля общей дисперсии, приходящейся на главные компоненты (98,187 %), преобладала и значительно превышала критическое для данного анализа значение (75 %). Итог факторного анализа верифицирует его успешность и позволяет использовать полученные главные компоненты в качестве независимых (с минимальной корреляцией между ними) переменных, описывающих характеристики пигментного состава хвои форм и сортов можжевельника в дальнейшем многопараметрическом анализе.

Таблица 5

**Матрица повернутых компонент факторного анализа по 12 признакам пигментного состава хвои форм и сортов можжевельника**  
**Rotated component matrix from the factor analysis of 12 needle pigment traits in juniper forms and cultivars**

Характеристика пигментного состава ассимиляционного аппарата (исходные переменные)	Компонента	
	1	2
Содержание хлорофилла <i>a</i>	0,914	–
Содержание хлорофилла <i>b</i>	–	0,736
Суммарное содержание хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i>	–	0,958
Содержание каротиноидов	0,984	–
Отношение концентраций хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i>	0,872	–
Отношение концентраций хлорофилла <i>a</i> и каротиноидов	–0,796	–
Отношение концентраций хлорофилла <i>b</i> и каротиноидов	–0,917	–
Доля хлорофилла <i>a</i>	0,877	–
Доля хлорофилла <i>b</i>	–0,904	–
Доля каротиноидов	0,904	–
Отношение концентраций каротиноидов и хлорофиллов	0,903	–
Суммарное содержание пластидных пигментов	–	0,999
Начальные собственные значения главных компонент	9,219	1,994
Доля дисперсии главных компонент, %	76,824	16,618
Кумулятивная дисперсия главных компонент, %	93,442	

Иерархическая кластеризация, выполненная с использованием метода межгрупповых связей на основе исходных признаков пигментного состава фотосинтезирующего аппарата и адекватных им главных компонент, завершилась визуализацией с помощью дендрограмм.

Этапы кластеризации (табл. 6) отражали порядок шагов объединения многомерных объектов в кластеры и последовательность формирования единой иерархической системы. Заметно, что дистанции между ее структурными элементами неодинаковы: от 2,8484 до 38,6770 единицы расчетной шкалы анализа и от 1,84 до 25,00 масштабных единиц для графических построений 25-разрядной шкалы. Достигнутый результат вскрыл неоднородность структуры сложившейся агломерации и наличие в ней хорошо оформленных группировок, в различной степени отдаленных друг от друга в многомерном пространстве признаков.

Таблица 6

**Порядок кластеризации форм и сортов можжевельника по нормированным значениям 12 признаков пигментного состава их ассимиляционного аппарата**  
**Clustering of juniper forms and cultivars based on 12 normalized needle pigment characteristics**

Этап	Шаг агломерации		Коэффициент		Этап появления 1-го кластера	
	кластер 1	кластер 2	дистанция примыкания	единицы масштаба	кластер 1	кластер 2
1	1	4	2,848	1,84	0	0
2	2	3	3,548	2,29	0	0

Окончание табл. 6

Этап	Шаг агломерации		Коэффициент		Этап появления 1-го кластера	
	кластер 1	кластер 2	дистанция примыкания	единицы масштаба	кластер 1	кластер 2
3	1	8	5,671	3,67	1	0
4	6	7	8,581	5,55	0	0
5	2	6	11,246	7,27	2	4
6	5	9	14,005	9,05	0	0
7	1	2	19,767	12,78	3	5
8	1	5	38,677	25,00	7	6

На этом основании можно признать достаточность аргументов для выделения в рассматриваемом наборе форм и сортов можжевельника таких, которые наиболее сходны по комплексу характеристик пигментного состава.

На дендрограмме рис. 2 отчетливо обозначились 3 разновеликих кластера (отмечено зеленым). В первый (сравнительно плотный) вошли *J. sabina* L. var. *Tamariscifolia*, *J. ×media* Van Melle var. 'Mint Julep', *J. virginiana* L. var. 'Grey Owl'; во второй (наиболее крупный) – *J. squamata* Lamb. var. 'Blue Carpet', *J. squamata* Lamb. var. 'Meyeri', *J. horizontalis* Moench var. 'Jade River', *J. scopulorum* Sarg. var. 'Blue Arrow'; в третий (самый малочисленный) – *J. sabina* L. typical form, *J. communis* L. typical form. Аналогичный результат получен при повторении принятого алгоритма с использованием в качестве анализируемых переменных выделенных на этапе факторного анализа главных компонент пигментного состава хвои сравниваемых форм и сортов можжевельника (табл. 7).

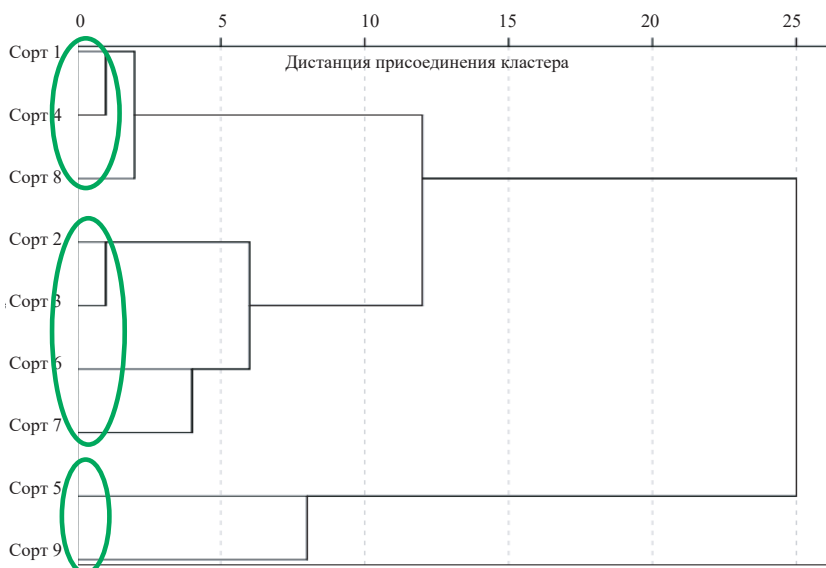


Рис. 2. Дендрограмма сходства декоративных форм и сортов можжевельника, построенная по нормированным значениям 12 признаков пигментного состава хвои

Fig. 2. Dendrogram of the similarity of decorative forms and varieties of juniper, constructed according to the normalized values of 12 signs of the pigment composition of the needles

Таблица 7

**Порядок кластеризации форм и сортов можжевельника по главным компонентам пигментного состава ассимиляционного аппарата**  
**Clustering of juniper forms and cultivars based on principal components of needle pigment composition**

Этап	Шаг агломерации		Коэффициент		Этап появления 1-го кластера	
			дистанция примыкания	единицы масштаба		
	кластер 1	кластер 2			кластер 1	кластер 2
1	1	4	0,400	1,94	0	0
2	2	3	0,565	2,74	0	0
3	1	6	0,939	4,55	1	0
4	7	9	1,189	5,76	0	0
5	2	8	1,351	6,54	2	0
6	2	5	2,420	11,72	5	0
7	1	7	4,459	21,59	3	4
8	1	2	5,163	25,00	7	6

На дендрограмме рис. 3 также можно выделить 3 кластера: *J. sabina* L. var. *Tamariscifolia*, *J. ×media* Van Melle var. 'Mint Julep', *J. horizontalis* Moench var. 'Jade River'; *J. scopulorum* Sarg. var. 'Blue Arrow', *J. communis* L. typical form; *J. squamata* Lamb. var. 'Blue Carpet', *J. squamata* Lamb. var. 'Meyeri', *J. virginiana* L. var. 'Grey Owl', *J. sabina* L. typical form. При допустимых расхождениях в порядке объединения рассматриваемых форм и сортов на обеих дендрограммах можно заметить устойчиво сохранившиеся группы: *J. sabina* L. var. *Tamariscifolia* имел минимальное расстояние от *J. ×media* Van Melle var. 'Mint Julep', *J. squamata* Lamb. var. 'Blue Carpet' и *J. squamata* Lamb. var. 'Meyeri' вошли в стабильную пару.

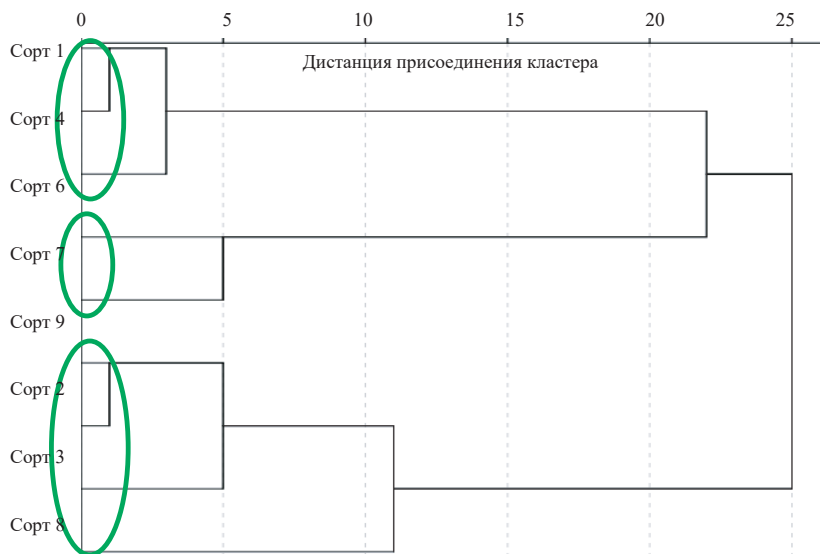


Рис. 3. Дендрограмма сходства декоративных форм и сортов можжевельника, построенная по 2 главным компонентам признаков пигментного состава хвои

Fig. 3. Similarity dendrogram for ornamental juniper forms and cultivars, based on two principal components of needle pigment characteristics

Типичная форма можжевельника казацкого в обоих вариантах анализа максимально отличалась от остальных образцов. То есть кластерный анализ пигментного состава форм и сортов можжевельника выявил неодинаковую степень их сходства в указанном плане. При этом сорта, относящиеся к одному виду, демонстрировали близость комплекса характеристик в многомерном пространстве признаков и образовывали устойчивые группировки (пары). Напротив, представители разных видов, отличающиеся друг от друга биологически, чаще оказывались в разных кластерах. Столь устойчивое сохранение смысловой нагрузки итогов процедуры кластеризации, проводимой по различным алгоритмам, подтверждает ее корректность.

Можно констатировать, что характеристики пигментного состава ассимиляционного аппарата видов можжевельника отличались неоднородностью. Фенотипическая изменчивость фиксировалась как на уровне сопоставляемых форм и сортов, так и между особями в пределах формы/сорта. Если в первом случае изменчивость можно признать обусловленной эндогенными причинами (спецификой генотипов), то во втором причинами индивидуальных различий выступали экзогенные факторы или внутриклоновые флуктуации ненаследственной природы в пределах нормы реакции генотипа исходной особи, от которой произошли вегетативные потомки. Принято считать, что для одного клона отсутствуют четко выраженные закономерности изменчивости признаков [23, 28, 33, 35, 37, 39–41], в т. ч. характеристик листового аппарата [5], включая пигментный состав [7]. В то же время различия в указанных параметрах между вегетативными потомками разных по происхождению особей могут быть существенными [5, 7].

### *Выводы*

1. Декоративные формы и сорта видов можжевельника неодинаковы по широкому спектру характеристик пигментного состава ассимиляционного аппарата. Различия проявились как между представителями разных клоновых групп, так и на уровне индивидуальной фенотипической изменчивости особей в пределах каждой из них. В первом случае видимая дисперсия обусловлена эндогенными факторами и в значительной степени связана со спецификой генотипов, в то время как во втором – представляет собой ненаследуемые флуктуации внутри клона, генерируемые внешними условиями.

2. Комплексные сравнения исследованного ассортимента растений с привлечением методов многопараметрического анализа (факторного и кластерного) показали неодинаковую степень сходства/различий между представителями разных декоративных форм и сортов, что на фоне значительной наследственной обусловленности их признаков указывает на зависимость между проявлениями последних и принадлежностью к разным видам рода Можжевельник. Таксономически близкие по своему происхождению сорта устойчиво входили в состав одной и той же группы в структуре иерархической системы, в то время как представители разных видов оказывались в ее несовпадающих кластерах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Аверкиев Д. С.* История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Уч. зап. Горьковск. ун-та. 1954. Вып. XXXV. С. 119–136.

Averkiev D.S. The History of the Development of the Vegetation Cover of the Gorky Region and its Botanical and Geographical Division. *Uchenye zapiski Gor'kovskogo universiteta* = Scientific notes of the Gorky University, Gorky, 1954, iss. XXXV, pp. 119–136. (In Russ.).

2. *Алехин В.В.* Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000). Л.; Горький: Горьковск. гос. ун-т – 1-я картографическая фабрика ВКТ (тип. 1 картогр. фабрики ВКТ). 1935. 67 с.

Alyokhin V.V. *Explanatory Note to Geobotanical Maps of the (Modern and Restored) 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.).

3. *Алехин В.В.* Растительность СССР в основных зонах. М.: Сов. наука, 1951. 512 с.  
Alekhin V.V. *Vegetation of the USSR in the Main Zones*. Moscow, Sovetskaya Nauka Publ., 1951. 512 p. (In Russ.).

4. *Базилевская Н.А.* Теории и методы интродукции растений. М.: Московск. гос. ун-т, 1964. 131 с.

Bazilevskaya N.A. *Theories and Methods of Plant Introduction*. Moscow, Moscow State University Publ., 1964. 131 p. (In Russ.).

5. *Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П.* Изменчивость морфометрических признаков хвои на клоновой плантации плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вавиловск. журн. генетики и селекции. 2017. Т. 21, № 2. С. 198–206.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Variability of Morphometrical Characteristics of Needles at a Clonal Plantation of Plus Trees of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 198–206. (In Russ.). <https://doi.org/10.18699/VJ17.237>

6. *Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Бабич Н.А.* Пигментный состав хвои биоты восточной при интродукции на территорию Российской Федерации и Республики Казахстан // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 3. С. 63–77.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbayeva B.A., Kentbayev Ye.J., Babich N.A. Pigment Composition of the Needles of *Platyclusus Orientalis* During Introduction to the Territory of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 3, pp. 63–77. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-3-63-77>

7. *Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Котынова М.Ю.* Сезонный характер содержания пигментов в хвое туи западной в условиях Нижегородской области // Тр. С.-Петерб. науч.-исследоват. ин-та лесн. хоз-ва. 2022. № 3. С. 38–58.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kotynova M.Yu. The Seasonal Nature of the Pigment Content in the Needles of the Northern White-Cedar in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region. *Trudy SPbNILH* = Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry, 2022, no. 3, pp. 38–58. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21178/2079-6080.2022.3.3>

8. *Вайс А.А.* Аллометрические закономерности соотношения фитомассы хвои и диаметров деревьев в сосновых разнополнотных древостоях Приангарского района // Междунар. журн. экспериментальн. образования. 2015. № 11, ч. 2. С. 303–304.

Waiss A.A. Allometric Patterns of the Ratio of the Phytomass of Needles and Tree Diameters in the Pine Stands of the Angara Region. *Mezhdunarodnyi zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya* = International Journal of Experimental Education, 2015, no. 11, part 2, pp. 303–304. (In Russ.).

9. *Видякин А.И.* Индексная оценка признаков популяционной структуры сосны обыкновенной // Лесоведение. 1991. № 1. С. 57–62.

Vidyakin A.I. Index Assessment of the Characteristics of the Population Structure of the Common Pine. *Lesovedenie* = Forestry Science, 1991, no. 1, pp. 57–62. (In Russ.).

10. Воробьев Р.А., Тебенкова Д.Н. Развитие вегетативных и генеративных органов представителей рода Ель (*Picea* L.), интродуцированных в Нижегородской области // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2013. № 7. С. 97–105.

Vorobyov P.A., Tebenkova D.N. Development of Vegetative and Generative Organs of Representatives of the Genus Spruce (*Picea* L.), Introduced in the Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy Vestnik* = Forestry Bulletin, 2013, no. 7, pp. 97–105. (In Russ.).

11. Грабовский В.В., Зуkert Н.В., Корзухин М.Д. Оценка индекса листовой поверхности для территории России по данным государственного лесного реестра // Лесоведение. 2015. № 4. С. 255–259.

Grabovskiy V.V., Zukert N.V., Korzukhin M.D. Assessment of the Index of Leaf Surface for the Territory of Russia According to the State Forest Register. *Lesovedenie* = Forestry Science, 2015, no. 4, pp. 255–259. (In Russ.).

12. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики России, 1995. 156 с.

Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Environmental Problems of Carbon Dioxide Absorption Through Reforestation and Afforestation in Russia Publ.*, Moscow, Tsentr Ekhkologicheskoy Politiki Rossii Publ., 1995. 156 p. (In Russ.).

13. Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Мурадов К.П. Содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое биоты Восточной при интродукции // Хвойные бореал. зоны. 2024. Т. 42, № 3. С. 13–22.

Kentbayeva B.A., Kentbayev E.J., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Muradov K.P. The Content and Ratio of Plastid Pigments in the Needles of the *Platycladus Orientalis* During Introduction. *Khvoynye borealnoy zony* = Conifers of the Boreal Area, 2024, vol. 42, no. 3, pp. 13–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-3-13-22>

14. Коммонер Б. Замыкающийся круг: Природа, человек, технология. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 279 с.

Commoner B. *The Closing Circle: Nature, Man, Technology*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974. 279 p. (In Russ.).

15. Кудряшов В.С. Влияние стимуляторов роста на укоренение и развитие черенков туевика поникающего // Лесное хозяйство: стратегия и перспективы развития: материалы Всерос. науч.-практ. онлайн конф. с Междунар. участием. Н. Новгород: Нижегородск. гос. агротехнол ун-т им. Л.Я. Флорентьева, 2025. С. 305–315.

Kudryashov V.S. The Influence of Growth Stimulants on the Rooting and Development of Cuttings of the Drooping Tuber. *Forestry: Strategy and Development Prospects. Materyaly of the All-Russian Scientific and Practical Online Conferens With International Participation*. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Technological University named after L.Ya. Florentyev, 2025, pp. 305–315. (In Russ.).

16. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с.

Kulagin Yu.Z. *Woody Plants and the Industrial Environment*. Moscow, Nauka Publ., 1974. 125 p. (In Russ.).

17. Лапин П.И. Теория и практика интродукции древесных растений в средней полосе Европейской части СССР // Бюл. Глав. ботанич. сада. 1971. Вып. 81. С. 60–69.

Lapin P.I. Theory and Practice of the Introduction of Woody Plants in the Middle Zone of the European Part of the USSR. *Vyulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* = Bulletin of the Main Botanical Garden, 1971, iss. 81, pp. 60–69. (In Russ.).

18. Ляховенко О.И., Чулков Д.И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения // Русская политология – Russian political science. 2017. № 3(4). С. 21–26.

Lyakhovenko O.I., Chulkov D.I. The Main Environmental Problems of Russian Cities and Their Resolution Strategy. *Russkaya Politologiya* = Russian Political Science, 2017, no. 3, iss. 4, pp. 21–26. (In Russ.).

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

Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. *Methods and Techniques of Processing Forestry Information*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 272 p. (In Russ.).

20. Усольцев В.А., Плюха Н.И., Цепордей И.С. Отношение диаметра кроны к диаметру ствола: всеобщие модели лесообразующих видов Евразии // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 1. С. 36–42.

Usoltsev V.A., Plukha N.I., Tsepordey I.S. The Ratio of Crown Diameter to Trunk Diameter: Universal Models of Forest-Forming Species of Eurasia. *Khvoynye borealnoy zony* = Conifers of the Boreal Zone, 2024, vol. 42, no. 1, pp. 36–42. (In Russ.).

<https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-1-36-42>

21. Шишкина В.П., Вилков А.С. Наличие каротиноидов в хвое декоративных форм и сортов можжевельника в городских насаждениях Нижнего Новгорода // Лесн. хоз-во: стратегия и перспективы развития: материалы Всерос. науч.-практ. онлайн конф. с Междунар. участием. Н. Новгород: Нижегородск. гос. агротехнол. ун-т им. Л.Я. Флорентьева, 2025. С. 435–449.

Shishkina V.P., Vilkov A.S. The Presence of Carotenoids in Conifers of Decorative Forms and Varieties of Juniper in Urban Plantations of Nizhny Novgorod. *Forestry: Strategy and Development Prospects. Materyaly of the All-Russian Scientific and Practical Online Conference With International Participation*. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Technological University Named After L.Ya. Florentyev, 2025, pp. 435–449. (In Russ.).

22. Шлык А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* // Биохимия. 1968. Т. 33, вып. 2. С. 275–285.

Shlyk A.A. On the Spectrophotometric Determination of Chlorophylls *a* and *b*. *Biokhimiya* = Biochemistry, 1968, vol. 33, iss. 2, pp. 275–285. (In Russ.).

23. Bentzer B.G., Foster G.S., Hellberg A.R., Podzorski A.G. Genotype × Environment Interaction in Norway Spruce Involving Three Levels of Genetic Control: Seed Source, Clone Mixture, and Clone. *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, vol. 18, iss. 9, pp. 1172–1181. <https://doi.org/10.1139/x88-180>

24. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntcev V.A. Differentiation of the Plus Trees of Scots Pine on the Physiological Status of Xylem. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 4, pp. 9–25.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-9-25>

25. Binotto A.F., Lúcio A.D.C., Lopes S.J. Correlations Between Growth Variables and the Dickison Quality Index in Forest Seedlings. *Cerne*, 2010, vol. 16, no. 4, pp. 457–464. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>

26. Dawkins H.C. Crown Diameters: Their Relation to Ibole Diameter in Tropical Forest Trees. *Commonwealth Forestry Review*, 1963, vol. 42, pp. 318–333.

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

28. Hayatgheibi H., Haapanen M., Lundströmer J., Berlin M., Kärkkäinen K., Helmersson A. The Impact of Drought Stress on the Height Growth of Young Norway Spruce Full-Sib and Half-Sib Clonal Trials in Sweden and Finland. *Forests*, 2021, vol. 12, iss. 4, art. no. 498, pp. 1–15. <https://doi.org/10.3390/F12040498>

29. Houppis 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.

<https://doi.org/10.1093/treephys/4.2.187>

30. Lichtenthaler H.K. Chlorophyll *a* and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987, vol. 148: Plant Cell Membranes, pp. 350–382.

31. 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.

32. Lidholm J., Gustafsson P. A Functional Promoter Shift of a Chloroplast Gene: A Transcriptional Fusion Between a Novel *psbA* Gene Copy and the *trnK(UUU)* Gene in *Pinus contorta*. *The Plant Journal*, 1992, vol. 2, iss. 6, pp. 875–886.

<https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1992.t01-4-00999.x>

33. Pliura A., Zhang S.Y., Mackay J., Bousquet J. Genotypic Variation in Wood Density and Growth Traits of Poplar Hybrids at Four Clonal Trials. *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 238, iss. 1–3, pp. 92–106. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.082>

34. 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. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80347-0](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80347-0)

35. Randall W.K., Cooper D.T. Predicted Genotypic Gains From Cottonwood Clonal Tests. *Silvae Genetica*, 1973, vol. 22, pp. 165–167.

36. Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic Decline and Pigment Loss During Autumn Foliar Senescence in Western Larch (*Larix occidentalis*). *Physiology*, 1997, vol. 17, no. 12, pp. 767–775. <https://doi.org/10.1093/treephys/17.12.767>

37. Shukla G.K. Some Statistical Aspects of Partitioning Genotype-Environment Components of Variability. *Heredity*, 1972, vol. 29, iss. 2, pp. 237–245.

<https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87>

38. 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.

[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)

39. Wu J., Zhou Q., Sang Y., Kang X., Zhang P. Genotype-Environment Interaction and Stability of Fiber Properties and Growth Traits in Triploid Hybrid Clones of *Populus tomentosa*. *BMC Plant Biology*, 2021, no. 21, art. no. 405, pp. 1–20.

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-132369/v1>

40. Yu Q., Pulkkinen P., Rautio M., Haapanen M., Alen R., Stener L.-G., Beuker E., Tigerstedt P. Genetic Control of Wood Physiochemical Properties, Growth and Phenology in Hybrid Aspen Clones. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, vol. 31, iss. 8, pp. 1348–1356. <https://doi.org/10.1139/x01-066>

41. Zhang P.D., Wu F., Kang X.Y., Zhao C.G., Li Y.J. Genotypic Variations of Biomass Feedstock Properties for Energy in Triploid Hybrid Clones of *Populus tomentosa*. *BioEnergy Research*, 2015, vol. 8, iss. 4, pp. 1705–1713. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9622-1>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest