



Научная статья

УДК 630:575.21:582.475(470.57)

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-4-9-25

**Фенотипическая оценка клонов плюсовых деревьев
сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)
в лесостепной зоне Башкирского Предуралья**

В.Ф. Коновалов[✉], *д-р с.-х. наук, проф.*; *ResearcherID: [G-2775-2018](https://orcid.org/0000-0003-2020-5540)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2020-5540>

А.А. Габитова, *канд. биол. наук, доц.*; *ResearcherID: [JXX-2216-2024](https://orcid.org/0000-0003-2310-805X)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2310-805X>

А.К. Габделхаков, *канд. с.-х. наук, доц.*; *ResearcherID: [G-3023-2018](https://orcid.org/0000-0001-7129-880X)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7129-880X>

Д.А. Рафикова, *ассистент*; *ResearcherID: [HKV-8568-2023](https://orcid.org/0000-0003-1074-4671)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1074-4671>

Э.Р. Ханова, *канд. с.-х. наук, доц.*; *ResearcherID: [G-4662-2018](https://orcid.org/0000-0001-5399-2232)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5399-2232>

Башкирский государственный аграрный университет, ул. 50-летия Октября, д. 34,
г. Уфа, Россия, 450001; vfkonvalov@bk.ru[✉], abigabi@yandex.ru, aliya201199@mail.ru,
din-ka5@mail.ru, elvira-nr@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.05.22 / Одобрена после рецензирования 29.08.22 / Принята к печати 01.09.22

Аннотация. Проведена оценка основных морфометрических признаков рамет клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной в сравнительном аспекте. Вегетативное потомство плюсовых деревьев вида представлено в составе клоновой плантации, созданной в 2005 г. в Дюртюлинском лесничестве лесостепной зоны Республики Башкортостан на участке с типом лесорастительных условий С₂. Обеспечено соблюдение селекционно-генетического принципа фенотипической оценки внутри- и межгруппового различия клонов и рамет сосны обыкновенной, а также методических и методологических требований к проведению полевого этапа исследования. Учтены таксационные показатели: высота и диаметр ствола, диаметр и протяженность кроны, приросты осевого побега по высоте – у 100 клонов при сплошном перече. Выявлен различный характер распределения средних значений анализируемых показателей стволов у вегетативных потомств плюсовых деревьев. Лучший рост по диаметру ствола (25,5±0,73 см), высоте (11,2±0,16 м), приросту осевого побега (0,45±0,02 м) свойствен потомству клонов плюсового дерева 29/17. Высокую селекционную ценность представляют клоны 263/40, 264/41, 262/39 с таксационными показателями выше средних для всей совокупности деревьев в архиве клонов, что указывает на специфику генотипов этих экземпляров. Определены уровни существенности различий и интенсивности отбора лучших клонов плюсовых деревьев по морфометрическим признакам, что свидетельствует о различном характере индиви-

© Коновалов В.Ф., Габитова А.А., Габделхаков А.К., Рафикова Д.А., Ханова Э.Р., 2024

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

дуальной неидентичности каждого из плюсовых деревьев относительно остальных изученных. Выявленные в архиве клонов ценные генотипы потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной могут быть рекомендованы для дальнейшего использования в лесном селекционном семеноводстве при создании высокопродуктивных и устойчивых искусственных насаждений данного ценного древесного вида в регионе.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плюсовое дерево, архив клонов, раметы, рост сосны обыкновенной, диаметр ствола, высота ствола, диаметр кроны, протяженность кроны, прирост осевого побега

Для цитирования: Коновалов В.Ф., Габитова А.А., Габделхаков А.К., Рафикова Д.А., Ханова Э.Р. Фенотипическая оценка клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесостепной зоне Башкирского Предуралья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 4. С. 9–25. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-4-9-25>

Original article

Phenotypic Assessment of Clones of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plus Trees in the Forest-Steppe Zone of the Bashkir Cis-Urals

Vladimir F. Konovalov[✉], Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [G-2775-2018](https://orcid.org/0000-0003-2020-5540),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2020-5540>

Aigul A. Gabitova, Candidate of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [JXX-2216-2024](https://orcid.org/0000-0003-2310-805X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2310-805X>

Aydar K. Gabdelkhakov, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [G-3023-2018](https://orcid.org/0000-0001-7129-880X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7129-880X>

Dina A. Rafikova, Assistant; ResearcherID: [HKY-8568-2023](https://orcid.org/0000-0003-1074-4671),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1074-4671>

El'vira R. Khanova, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [G-4662-2018](https://orcid.org/0000-0001-5399-2232),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5399-2232>

Bashkir State Agrarian University, ul. 50-letiya Oktyabrya, 34, Ufa, 450001, Russian Federation; vfkonovalov@bk.ru[✉], abigabi@yandex.ru, aliya201199@mail.ru, din-ka5@mail.ru, elvira-nr@yandex.ru

Received on May 4, 2022 / Approved after reviewing on August 29, 2022 / Accepted on September 1, 2022

Abstract. An assessment of the main morphometric features of the ramets of clones of Scots pine plus trees in a comparative aspect has been carried out. The vegetative progeny of plus trees of the species are represented as part of a clonal plantation created in 2005 in the Dyurtyulinskiy forestry of the forest-steppe zone of the Republic of Bashkortostan in an area with the C₂ type of forest growing conditions. Compliance with the breeding and genetic principle of phenotypic assessment of intra- and intergroup differences in Scots pine clones and ramets, as well as methodical and methodological requirements for conducting the field stage of the study, has been ensured. Taxation indicators (the height and diameter of the stem, the diameter and length of the crown, the increment of the central shoot in height) have been taken into account for 100 clones at a continuous count. A varying nature of the distribution of the average values of the analyzed stem indicators in the vegetative progeny of plus trees has been revealed. The best growth in stem diameter (25.5±0.73 cm) and height (11.2±0.16 m), as well



as central shoot increment (0.45 ± 0.02 m), are typical for the progeny of clones of the plus tree 29/17. Clones 263/40, 264/41, 262/39 with taxation indicators above the average for the entire set of trees in the clone archive are of high breeding value, which indicates the specificity of the genotypes of these specimens. The levels of significance of the differences and the intensity of selection of the best clones of plus trees based on morphometric features have been determined, which indicates the different nature of the individual non-identity of each of the plus trees relative to the rest of the trees studied. The valuable genotypes of the progeny of Scots pine plus trees identified in the clone archive can be recommended for further use in forest seed breeding when creating highly productive and sustainable artificial plantations of this valuable tree species in the region.

Keywords: Scots pine, plus tree, clone archive, ramets, Scots pine growth, stem diameter, stem height, crown diameter, crown length, central shoot increment

For citation: Konovalov V.F., Gabitova A.A., Gabelkhakov A.K., Rafikova D.A., Khanova E.R. Phenotypic Assessment of Clones of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plus Trees in the Forest-Steppe Zone of the Bashkir Cis-Urals. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 4, pp. 9–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-4-9-25>

Введение

Одной из важных проблем лесного хозяйства является воспроизводство лесных ресурсов с использованием хозяйственно ценных древесных видов при повышении продуктивности древостоев. В соответствии со статьей 61 Лесного кодекса Российской Федерации, вырубленные и погибшие лесные насаждения подлежат воспроизводству, которое осуществляется путем лесного селекционного семеноводства, лесовосстановления и ухода за лесами. Создание искусственных насаждений ориентировано в основном на 2 направления: быстрое получение качественной деловой древесины за счет сокращения оборота рубки древостоев посредством внедрения инновационных технологий в лесокультурное производство; создание высокопродуктивных и устойчивых лесных культур селекционно ценным посадочным материалом, характеризующихся высоким уровнем генетического разнообразия [40, 41]. Для успешной реализации данных направлений важно обратить внимание на современные приемы плюсовой селекции древесных видов [25, 26], эффективную организацию их селекционного семеноводства [6, 9, 10, 16, 24, 45], научно обоснованное использование ценного генофонда естественных насаждений при воспроизводстве лесов [13, 32, 33, 35, 43].

В настоящее время в поле зрения отечественных и зарубежных ученых находятся оценка генетического потенциала растений [38, 39], их фенотипического и генотипического полиморфизма в популяциях [15], взаимосвязи роста, состояния и сохранности древесных видов с уровнем их генетического статуса [3, 12, 36, 42, 44, 47], селекционно-генетический анализ лесосеменных объектов [27, 28, 30, 31], использование молекулярных маркеров для идентификации, инвентаризации и характеристики генетического разнообразия лесных ресурсов [7, 20, 21, 29, 37, 46] в селекции и семеноводстве лесных растений [5, 18, 19], поэтапная паспортизация и генотипирование деревьев на лесосеменных плантациях [14]. Исследования с опорой на генетические маркеры позволяют более объективно устанавливать уровень отбора растений с ценными признаками в насаждениях и лесных питомниках [34]. В практику оценки

качества и эффективности лесосеменных объектов широко внедряются методы многомерной статистики и факторного анализа для ранней диагностики лучших растений по комплексу морфометрических признаков и дальнейшего использования этих растений в лесном семеноводстве [1, 2, 8]. Перевод семеноводства на генетико-селекционную основу является одной из главных задач современного лесного хозяйства [1, 9, 11, 22]. Отмечается чрезвычайно низкая доля заготавливаемых лесных семян с хорошими наследственными свойствами, что нашло отражение в распоряжении Правительства РФ от 26.09.2013 № 1724-р «Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года». Поэтому важным вопросом для ученых-лесоводов и практиков становится разработка способов повышения эффективности существующих и вновь закладываемых лесосеменных плантаций, архивов клонов, постоянных лесосеменных участков с целью увеличения объемов производства семян с улучшенными наследственными свойствами [10].

Значительное количество научных работ (ссылки на них приведены выше) посвящено ценному в хозяйственном отношении древесному виду – сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В нашем исследовании этому виду, составляющему наиболее важные лесосеменные объекты в Республике Башкортостан, уделено первостепенное внимание. Сосна обыкновенная является одним из основных древесных видов-лесообразователей в нашей стране. Ее ареал охватывает обширную территорию всей лесной зоны Европы, Западной и Центральной Сибири. В Республике Башкортостан сосняки составляют 68,8 % от всей площади лесов и 77,1 % от их запаса. Сосна обыкновенная ежегодно широко вводится в лесокультурное производство. Доля искусственных насаждений данного вида в воспроизводстве лесов в республике составляет более 60 %. Сосна обыкновенная является очень полиморфной. По форме кроны и ствола выделена 31 форма, по строению корки – 9, по размерам и окраске хвои – 21, по окраске стробиллов и строению шишек – 12, по качеству древесины – 3 и по цвету семян – 5 [23]. Приведенная классификация форм сосны обыкновенной не является исчерпывающей.

Каждый древостой вида представлен множеством деревьев, среди которых выделяются лучшие по комплексу хозяйственно ценных признаков и свойств – плюсовые деревья. По данным учета 2018 г., их количество в Республике Башкортостан составляет 586 шт. (Лесной план Республики Башкортостан: утв. указом Главы Республики Башкортостан от 27 дек. 2018 г. № УГ-340). Плюсовые деревья являются базой создания ценных селекционно-семеноводческих объектов: лесосеменных плантаций, архивов клонов, маточных плантаций, испытательных культур и постоянных лесосеменных участков. В селекционном семеноводстве наиболее ценными являются архивы клонов, созданные прививками черенками с плюсовых деревьев. В республике архивы клонов занимают площадь 14,2 га, в т. ч. на 13,2 га произрастает сосна обыкновенная.

На современном этапе развития лесного семеноводства необходимо обратить пристальное внимание на оценку эффективности лесосеменных объектов путем их качественного изучения в морфометрическом и генетическом аспектах. В настоящее время объекты лесного семеноводства Республики Башкортостан не обеспечивают воспроизводство лесов семенами с ценными наслед-

ственными свойствами. Доля улучшенных семян не превышает 4 % в общем объеме ежегодной заготовки лесных семян. Для оценки селекционной эффективности архивов клонов требуется натурное обследование данных объектов, по результатам которого должно быть принято решение об их использовании для заготовки семян улучшенной селекционной категории. При этом важно учитывать рост, урожайность и качество потомств плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов.

Цель исследования заключалась в фенотипической оценке закономерностей роста потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архиве клонов для установления его селекционно-генетического статуса как ценного лесосеменного объекта.

Задачи исследования – проанализировать особенности роста рамет клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, характера наследования хозяйственно ценных признаков в вегетативном потомстве и на основе полученных результатов оценить качество этих клонов и возможность их использования для заготовки семян улучшенной селекционной категории.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся архив клонов сосны обыкновенной, заложенный в 2005 г. в Ангасякском участковом лесничестве Дюртюлинского лесничества лесостепной зоны Башкирского Предуралья. Географические координаты объекта исследования – 5°36'13,68" с. ш. 54°49'49,82" в. д. Архив клонов создан посадкой сеянцев с привитыми черенками, заготовленными с плюсовых деревьев сосны обыкновенной. Привитые 2-летние сеянцы были высажены на подготовленном участке по схеме 5×5 м, тип лесорастительных условий – С₂, почвы – серые лесные супесчаные на суглинистой подпочве, размещение клонов – рядовое. В архиве клонов представлено потомство от 10 плюсовых деревьев сосны обыкновенной с количеством рамет в каждом клоне 40. У рамет клонов оценивались основные морфометрические признаки: высота и диаметр ствола, диаметр кроны в ряду и между рядами, ее протяженность, прирост осевого побега за последний год. Для каждого клона рассчитывался комплексный оценочный показатель (КОП) по отношению среднего диаметра ствола к средней площади его поперечного сечения. Для диаметра и высоты ствола, диаметра и протяженности кроны устанавливался коэффициент наследуемости с использованием величин варьирования признаков, полученных на основе однофакторного дисперсионного анализа. Для оценки внутри- и межклоновой изменчивости изучаемых признаков применялся факторный анализ. Опытные данные подвергались статистической обработке в соответствии с общепринятыми методическими рекомендациями [4, 17].

Результаты исследования и их обсуждение

Клоновая лесосеменная плантация сосны обыкновенной как объект нашего исследования закладывалась в 2005 г. сеянцами с привитыми черенками от плюсовых деревьев данного вида. Площадь плантации – 1 га. Параметры материнских плюсовых деревьев приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сведения о материнских плюсовых деревьях сосны обыкновенной
The data on the Scots pine mother plus trees

Номер дерева	Лесничество	Тип леса	Характеристика дерева					Год аттестации
			Возраст, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см	Превышение*, %		
						по высоте	по диаметру	
29/17	Ангарское	Брусничный	145	39	44	112	133	1969
107/32			117	36	40	108	128	1978
106/31			117	36	40	108	128	
135/35			147	39	44	112	133	
136/36			147	39	44	112	133	
137/37	Дюргюлинское	Разнотравный	147	39	44	112	133	
263/40	Ангарское	Брусничный	141	37	42	109	129	1979
264/41			141	37	43	109	130	
262/39	Дюргюлинское	Разнотравный	112	32	39	106	118	1982
484/69			143	38	42	110	130	

*По отношению ко всей совокупности деревьев в насаждении.

Все отобранные деревья характеризовались хорошим очищением стволов от сучьев, прямоствольностью, полнодревесностью, а также отсутствием дефектов и пороков формы стволов. Преобладающими являлись брусничные и разнотравные типы леса. Возраст плюсовых деревьев составлял 112–145 лет, высота стволов – 32–39 м, их диаметр – 39–44 см. По сравнению со средними параметрами линейного и радиального роста стволов для всей совокупности деревьев в насаждениях превышение высоты варьировало в пределах от 106 до 112 %, диаметра ствола – от 118 до 133 %. Сохранность 10 клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной на момент нашего учета составила 87,5 %. На данном объекте с замерами рамет по каждому клону проведена оценка основных морфометрических признаков стволов и кроны деревьев сосны обыкновенной в возрасте 19 лет (табл. 2).

Таблица 2

Статистические показатели клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной
The statistical indicators of clones of Scots pine plus trees

Признак	M	min	max	Δlim	$\pm m$	$C_v, \%$	P, %	t^*
Диаметр ствола, см	21,7	17,5	25,3	7,8	0,72	10,7	3,3	2,54
Высота, м	10,1	8,6	11,3	2,7	0,29	9,3	2,9	0,24
Диаметр кроны, м	5,9	5,0	8,4	3,4	0,25	14,8	4,2	2,83
Протяженность кроны, м	8,3	6,6	9,5	2,9	0,32	10,9	3,8	0,06
Прирост осевого побега, м	0,39	0,32	0,49	0,17	0,02	15,3	5,1	0,50
КОП, см/см ²	2,84	2,0	4,4	2,4	0,14	23,0	4,9	2,58

Примечание: M – среднее арифметическое значение; max – абсолютный максимум значений; min – абсолютный минимум значений; Δlim – диапазон абсолютных значений; $\pm m$ – ошибка репрезентативности среднего; C_v – коэффициент вариации (изменчивости), %; P – точность опыта, %; t^* – опытное значение критерия Стьюдента ($t_{05} = 1,98$; $t_{01} = 2,62$).

Для всей совокупности деревьев в архиве клонов средний диаметр ствола составил $21,7 \pm 0,72$ см с коэффициентом изменчивости признака 10,7 % и его варьированием от 17,5 до 25,3 см. Средняя высота стволов клонов, с варьированием признака от 8,6 до 11,3 м, соответствует $10,1 \pm 0,29$ м при коэффициенте изменчивости 9,3 %. Размеры кроны, наряду с диаметром и высотой стволов, являются критериальными показателями при отборе плюсовых деревьев сосны обыкновенной в насаждениях. В связи с этим нами было уделено особое внимание изучению размеров кроны. Средний диаметр кроны как средневзвешенное значение замеров в ряду – $5,90 \pm 0,21$ м и между рядами – $5,82 \pm 0,29$ м составил $5,9 \pm 0,25$ м с минимальным и максимальным значениями признака 5,0 и 8,4 м соответственно и коэффициентом вариации 14,8 %. Протяженность кроны с минимальным и максимальным значениями 6,6 и 9,5 м соответственно в среднем составила $8,3 \pm 0,32$ м при изменчивости 10,9 %. Прирост годичного осевого побега у клонов был незначительным – $0,39 \pm 0,02$ м со средней изменчивостью 15,3 % и варьированием от 0,32 до 0,49 м. Достоверная связь по сравнению со средними значениями оцениваемых признаков для всего насаждения установлена по диаметру стволов – 2,54, среднему диаметру кроны – 2,83 и КОП – 2,58. Выявлено наличие в кронах рамет сосны обыкновенной отмерших и поврежденных при сборе шишек побегов. Жизненное состояние рамет оценивается как здоровое в 100 % случаев, крона деревьев хорошо развита (90 %), искривленность стволов не отмечена. Проведена статистическая оценка морфометрических признаков клонов сосны обыкновенной с замерами ствола и кроны и охватом репрезентативного массива рамет в каждом клоне (табл. 3).

Таблица 3

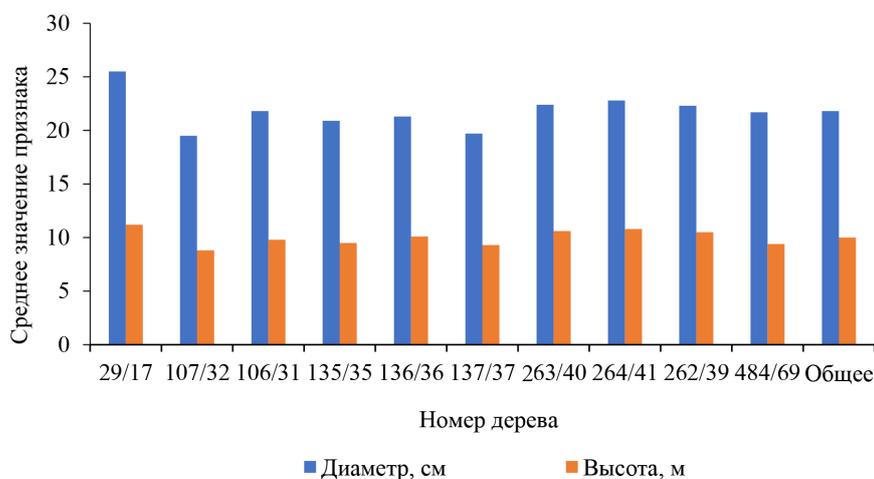
**Средние (с ошибкой) таксационные показатели клонов
плюсовых деревьев сосны обыкновенной**
The average (erroneous) taxation indicators of Scots pine plus tree clones

Номер дерева	Диаметр ствола, см	Высота, м	Диаметр кроны, м	Протяженность кроны, м	Прирост осевого побега, м	КОП, см/см ²
29/17	$25,5 \pm 0,73$	$11,2 \pm 0,16$	$7,1 \pm 0,22$	$10,5 \pm 0,27$	$0,45 \pm 0,02$	$2,25 \pm 0,11$
107/32	$19,5 \pm 0,42$	$8,8 \pm 0,25$	$6,5 \pm 0,31$	$7,5 \pm 0,19$	$0,42 \pm 0,02$	$2,96 \pm 0,07$
106/31	$21,8 \pm 0,74$	$9,8 \pm 0,26$	$6,9 \pm 0,24$	$8,3 \pm 0,23$	$0,40 \pm 0,02$	$2,71 \pm 0,12$
135/35	$20,9 \pm 0,70$	$9,5 \pm 0,34$	$6,7 \pm 0,38$	$7,6 \pm 0,30$	$0,41 \pm 0,02$	$2,81 \pm 0,13$
136/36	$21,3 \pm 0,73$	$10,1 \pm 0,18$	$6,8 \pm 0,22$	$8,0 \pm 0,30$	$0,39 \pm 0,02$	$2,89 \pm 0,09$
137/37	$19,7 \pm 0,55$	$9,3 \pm 0,30$	$6,2 \pm 0,38$	$7,3 \pm 0,27$	$0,37 \pm 0,02$	$3,82 \pm 0,19$
263/40	$22,4 \pm 0,31$	$10,6 \pm 0,21$	$7,2 \pm 0,35$	$8,1 \pm 0,19$	$0,35 \pm 0,02$	$2,55 \pm 0,11$
264/41	$22,8 \pm 0,77$	$10,8 \pm 0,21$	$7,4 \pm 0,23$	$8,3 \pm 0,24$	$0,41 \pm 0,02$	$2,87 \pm 0,14$
262/39	$22,3 \pm 0,46$	$10,5 \pm 0,30$	$7,5 \pm 0,45$	$8,2 \pm 0,37$	$0,44 \pm 0,02$	$2,72 \pm 0,12$
484/69	$21,7 \pm 0,86$	$9,4 \pm 0,28$	$6,4 \pm 0,28$	$7,9 \pm 0,21$	$0,40 \pm 0,01$	$2,82 \pm 0,13$

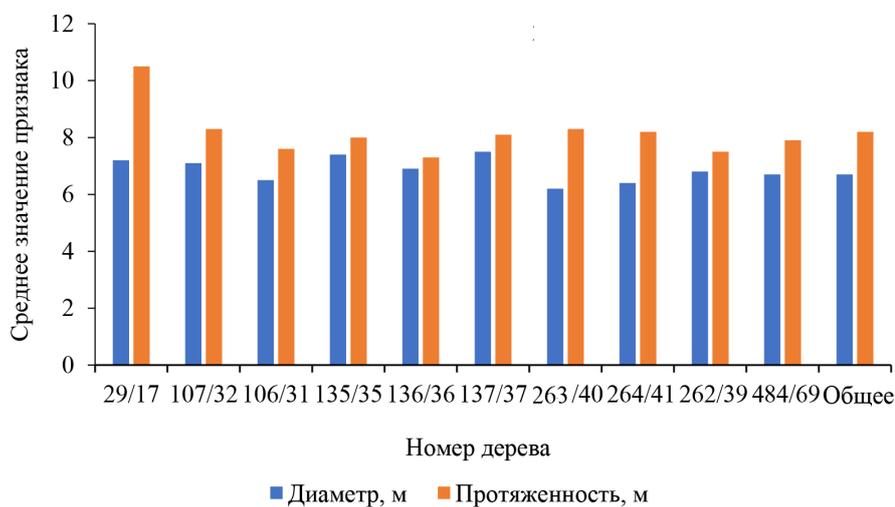
Вегетативное потомство плюсовых деревьев сосны обыкновенной, введенное в состав обследуемого архива клонов, в основном не демонстрирует выраженной фенотипической однородности по комплексу оцениваемых признаков. Однако следует отметить, что нами выделено 4 клона – 29/17, 263/40, 264/41 и 262/39 – с диаметром ствола от 22,3 до 25,5 см, это превышает среднее для совокупности рамет клонов сосны обыкновенной – $21,7 \pm 0,72$ см. Данные клоны характеризуются большими высотой стволов – от $10,5 \pm 0,30$ до $11,2 \pm 0,16$ м; диаметром кроны – от $7,1 \pm 0,22$ до $7,5 \pm 0,45$ м; ее протяженностью – от

8,2±0,37 до 10,5±0,27 м; приростом осевого побега ствола – от 0,44±0,02 до 0,45±0,02 м. Их количество составляет 40 % от общего числа учтенных клонов. КОП клонов имеют достаточно близкие цифровые значения. Доля низкорослых клонов (107/32, 137/37) с диаметром стволов до 20 см составила 20 % от всей выборки рамет в клонах. Диаметр стволов других клонов – 106/31, 136/36, 135/35 и 484/69 – от 20,9±0,70 до 21,8±0,74 см (табл. 3).

Проведенное исследование позволяет выделить 3 группы клонов по значению оцениваемых признаков: выше среднего (29/17, 264/41, 263/40 и 262/39), со средним (135/35, 136/36, 264/41, 484/69), с низким (107/32, 137/37). Фенотипическая изменчивость диаметра, высоты стволов и размеров кроны клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной наглядно отражена на рисунке.



a



б

Изменчивость клонов сосны обыкновенной на объекте исследования по размерам:
a – ствола; б – кроны

The variability of Scots pine clones at the research object in terms of: a – stem size;
б – crown size

Как было отмечено выше, на объекте исследования не выявлено убедительного фенотипического различия анализируемых морфометрических признаков стволов как между плюсовыми деревьями, так и между представителями их клонового потомства. Тем не менее следует выделить клоны 29/17, 263/40, 264/41 и 262/39 как лучшие по росту и развитию кроны, отвечающие предъявляемым требованиям и пригодные для заготовки семян высокой селекционной ценности. Средние морфометрические признаки данных клонов наиболее значимо превышают обобщенные значения признаков для всей совокупности деревьев на объекте: диаметр ствола – $21,9 \pm 0,73$ см, высота – $10,0 \pm 0,29$ м, диаметр кроны – $6,9 \pm 0,30$ м, ее протяженность – $8,3 \pm 0,31$ м.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что в архиве клонов сосны обыкновенной представленность рамет соответствует схеме их размещения на участке, обеспечивающей успешный рост, семеношение и развитие деревьев вида.

Однако оценка рамет по комплексу основных морфометрических признаков не позволяет точно идентифицировать их селекционную значимость, что свидетельствует о необходимости генетической подеревной оценки клонового потомства.

Объективно охарактеризовать масштабы различий в оценках клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной по комплексу морфометрических признаков и выявить степень влияния на них специфики генетического потенциала растений и среды их произрастания позволил однофакторный дисперсионный анализ (табл. 4).

Таблица 4

Существенность различий и интенсивность отбора клонов сосны обыкновенной по морфометрическим признакам деревьев
The significance of the differences and the intensity of Scots pine clone selection according to the morphometric features of the trees

Признак	$F_{\text{оп}}$	Оценка влияния фактора						R	I
		по Н.А. Плохинскому			по Д.У. Снедекору				
		h^2	$\pm sh^2$	F_h^2	h^2	$\pm sh^2$	F_h^2		
1	2,135	0,1750	0,0825	2,121	0,1561	0,0805	1,939	3,69	0,39
2	2,145	0,1761	0,0823	2,140	0,1598	0,0840	1,902	3,45	0,86
3	2,968	0,2288	0,0722	2,966	0,1804	0,0819	2,207	4,84	0,46
4	0,691	0,0646	0,0935	0,691	0,0501	0,0949	0,528	0,16	0,43
5	1,388	0,1220	0,0878	1,389	0,0937	0,0906	1,034	3,48	0,33

Примечание: 1 – диаметр ствола, см; 2 – высота ствола, м; 3 – диаметр кроны, м; 4 – протяженность кроны, м; 5 – прирост осевого побега, м.

$F_{\text{оп}}$ – опытное значение критерия Фишера; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm sh^2$ – ошибка доли влияния организованного фактора; F_h^2 – критерий Фишера в оценке достоверности доли влияния организованного фактора; R – наследуемый селекционный дифференциал, %; I – интенсивность отбора.

Данные дисперсионного анализа показывают превышение соответствующих табличных значений для заданного числа степеней свободы на 5%-м ($F_{05} = 1,9$) и 1%-м ($F_{01} = 2,5$) уровнях значимости по ряду основных признаков – диаметру ($F_{\text{оп}} = 2,135$) и высоте ($F_{\text{оп}} = 2,145$) ствола, диаметру кроны ($F_{\text{оп}} = 2,968$). По протяженности кроны ($F_{\text{оп}} = 0,691$) и приросту осевого побега ($F_{\text{оп}} = 1,388$) различия между клонами являются недостоверными. Подобное

заключение дало возможность вычисления оценок влияния организованного фактора (различия между клонами) на формирование общего фона фенотипической изменчивости клонов по параметрам ствола и кроны.

В расчетах по алгоритму Н.А. Плохинского доля влияния клоновой принадлежности на оцениваемые морфометрические признаки составляет от 6,9 до 22,9 %. Сопоставимыми и достоверно различающимися оказались оценки диаметра – $h^2 \pm sh^2 = 0,1750 \pm 0,0825$, высоты ствола – $h^2 \pm sh^2 = 0,1761 \pm 0,0823$ и диаметра кроны – $h^2 \pm sh^2 = 0,2288 \pm 0,0772$.

По алгоритму Д.У. Снедекора, с несколько меньшим расчетным критерием Фишера – $F_h^2 = 0,528 - 2,207$, установлено аналогичное достоверное различие между клонами по диаметру и высоте ствола, диаметру кроны, что согласуется с критерием Фишера на 5%-м уровне значимости ($F_{05} = 1,9$). Однофакторный дисперсионный анализ позволил определить наследуемый селекционный дифференциал (генетическое улучшение) и показатель интенсивности отбора как отношение селекционного дифференциала к популяционной величине среднего квадратического отклонения признака. При однократном отборе клонов сосны обыкновенной по анализируемым признакам генетическое улучшение незначительно – от 0,16 до 4,84 % при интенсивности отбора $I = 0,33 - 0,86$. Полученные данные в целом свидетельствуют о положительном селекционном эффекте в отношении диаметра и высоты ствола, диаметра кроны при проведении отбора потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной по фенотипу. Селекционное улучшение по названным признакам на 3,69–4,84 % следует считать не столь значительным, но представляющим практический интерес.

Проведен регрессионный анализ по комплексу изучаемых признаков клонов сосны обыкновенной, задачей которого являлась оценка связей между количественными переменными этих признаков (табл. 5). Форма корреляционной связи диаметра стволов клонов с другими их морфометрическими признаками выражена уравнением множественной линейной регрессии: $Y = -29,193 - 0,392X_1 + 3,538X_2 + 73,981X_3$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,711$ свидетельствует о том, что связь варьирования диаметра стволов и остальных изучаемых признаков клонов, описываемая линейной зависимостью, достаточно высокая.

Таблица 5

Регрессионный анализ взаимосвязи морфометрических признаков клонов сосны обыкновенной ($R^2 = 0,711$)
The regression analysis of the relationship between the morphometric features of Scots pine clones ($R^2 = 0,711$)

Признак	$b_1 \pm \text{ошибка}$	$b_2 \pm \text{ошибка}$	t	p
Диаметр ствола, см	—	$-29,193 \pm 13,453$	-2,170	0,073
Высота, м	$-0,848 \pm 0,354$	$-0,392 \pm 0,163$	-2,398	0,053
Диаметр кроны, м	$1,299^* \pm 0,370^*$	$73,981^* \pm 21,083^*$	3,509*	0,012
Прирост осевого побега, м	$0,898^* \pm 0,279^*$	$3,538^* \pm 1,102^*$	3,209*	0,018

Примечание: b_1, b_2 – коэффициенты регрессии по диаметру ствола и другим признакам соответственно; p – уровень значимости. *Различия достоверны при $p < 0,05$.

На уровне значимости $p < 0,05$ клоны достоверно различаются по присутствию осевого побега ствола и диаметру кроны. Для установления тесноты линейной связи между основными признаками ствола и кроны клонов сосны обыкновенной проведен корреляционный анализ (табл. 6).

Таблица 6

**Оценка тесноты связи морфометрических признаков
клонов сосны обыкновенной**

**Assessment of the closeness of the relationship between the morphometric features
of Scots pine clones**

Показатель	Признак 1	Признак 2	Признак 3	Признак 4	Признак 5	Признак 6
<i>Признак 1</i>						
r	1,000	0,856	0,559	0,858	0,070	-0,783
$\pm m_r$	0	0,089	0,156	0,088	0,231	0,101
t_r	0	9,617	3,583	9,750	0,303	7,752
<i>Признак 2</i>						
r	0,856	1,000	0,335	0,749	0,015	-0,427
$\pm m_r$	0,089	0	0,192	0,118	0,234	0,178
t_r	9,617	0	1,744	6,347	0,064	2,399
<i>Признак 3</i>						
r	0,559	0,335	1,000	0,191	0,092	-0,788
$\pm m_r$	0,156	0,192	0	0,212	0,224	0,108
t_r	3,583	1,744	0	0,901	0,411	7,296
<i>Признак 4</i>						
r	0,858	0,749	0,191	1,000	0,047	-0,476
$\pm m_r$	0,088	0,118	0,212	0	0,230	0,171
t_r	9,750	6,347	0,901	0	0,204	2,784
<i>Признак 5</i>						
r	0,070	0,015	0,092	0,047	1,000	-0,247
$\pm m_r$	0,231	0,234	0,224	0,230	0	0,204
t_r	7,752	0,064	0,411	0,204	0	1,211
<i>Признак 6</i>						
r	-0,783	-0,427	-0,788	-0,476	-0,247	1,000
$\pm m_r$	0,101	0,178	0,108	0,171	0,204	0
t_r	7,752	2,399	7,296	2,784	1,211	0

Примечание: r – коэффициент корреляции Пирсона; $\pm m_r$ – ошибка коэффициента корреляции; t_r – статистическая значимость коэффициента корреляции (критические – $r_{05} = 0,44$ и $r_{01} = 0,56$); 6 – КОП.

В расчетах нами использован коэффициент корреляции с вычислением его ошибки и статистической значимости. Для оценки тесноты связи между изучаемыми признаками применена шкала Р.Э. Чеддока. Очень высокие парные корреляционные связи установлены между диаметром и высотой ствола – $r = 0,856 \pm 0,089$, диаметром кроны и ее протяженностью – $r = 0,858 \pm 0,088$, протяженностью кроны и высотой ствола – $r = 0,749 \pm 0,118$. Отмечена высокая отрицательная корреляционная связь между диаметром ствола и КОП –

$r = -0,783 \pm 0,101$, диаметром кроны и КОП – $r = -0,788 \pm 0,108$, умеренная связь между диаметром ствола и диаметром кроны – $r = -0,559 \pm 0,156$, отрицательная – между протяженностью кроны и КОП – $r = -0,476 \pm 0,171$. Слабыми являются связи диаметра ствола и протяженности кроны – $r = -0,191 \pm 0,212$, диаметра ствола и годового прироста осевого побега – $r = 0,15 \pm 0,35$, КОП и годового прироста осевого побега – $r = -0,247 \pm 0,204$. Проведенный корреляционный анализ позволяет выбрать морфометрические признаки ствола и кроны с высокими коэффициентами корреляции и использовать их в качестве диагностических при отборе лучших рамет клонов сосны обыкновенной для получения в дальнейшем семян высокой селекционной ценности.

Заключение

Клоны сосны обыкновенной от плюсовых деревьев вида, анализируемые по комплексу значимых в селекции признаков ствола и кроны, характеризуются различными числовыми значениями признаков, что служит подтверждением влияния генетических факторов на рост и развитие рамет, произрастающих в идентичных благоприятных лесорастительных условиях. Выделены клоны вида со статистически достоверно более высокими диаметром и высотой ствола, размерами кроны и годовым приростом осевого побега. Эти клоны в селекционном отношении представляют наивысшую ценность. Отличительные особенности таксационных показателей клонов сосны обыкновенной, подтвержденные дисперсионным, корреляционным и регрессионным анализом, в большинстве случаев соответствуют достоверному уровню существенности различий, что указывает на специфику генотипов клонов. Сходство между собой клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной по параметрам ствола и кроны достаточно индивидуализировано как в разрезе их совокупности на клоновой плантации, так и в отношении отдельных рамет. Применение методов многомерной статистики и SSR-анализа плюсовых деревьев сосны обыкновенной в подобных исследованиях в перспективе позволит разработать более аргументированные и достоверные диагностические критерии с целью качественной оценки клонов вида и сделать наиболее убедительное заключение об их селекционно-генетической пригодности для заготовки семян улучшенной селекционной категории. Негативными факторами являются отсутствие своевременных лесоводственных уходов за насаждениями на данном селекционном объекте и повреждение кроны отдельных деревьев в процессе заготовки шишек. Специалистам лесного хозяйства необходимо обращать внимание на эти факторы с целью сохранения высокого селекционного статуса архива клонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев: моногр. Н. Новгород: Нижегородская СХА, 2016. 464 с.
Besschetnova N.N. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Reproductive Potential of Plus Trees: Monograph. Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod State Agriculture Academy Publ., 2016. 464 p. (In Russ.).
2. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Горелов А.Н., Михалюк А.В. Рост клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации во Владимирской области // Тр. СПбНИИЛХ. 2022. № 2. С. 18–32.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Gorelov A.N., Mikhailyuk A.V. Growth of Clones of Plus Trees of Scots Pine on the Seed Orchard in the Vladimir Region. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva* = Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute, 2022, no. 2, pp. 18–32. (In Russ.). <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2022.2.18>

3. Бондаренко А.С. Взаимосвязь сохранности растений с уровнем генетического разнообразия по основным количественным признакам в насаждениях сосны обыкновенной и ели европейской // Тр. СПбНИИЛХ. 2019. № 3. С. 38–50.

Bondarenko A.S. The Relationship between the Scots Pine and Norway Spruce Plants Safety and the Genetic Diversity Level on Main Quantitative Characteristics. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva* = Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute, 2019, no. 3, pp. 38–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2019.3.38>

4. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований. СПб.: Политехн. ун-т, 2016. 125 с.

Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. *Statistic Processing of Forestry Research Materials*. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2016. 125 p. (In Russ.).

5. Буторина А.К., Машкина О.С., Камалова И.И. Использование молекулярных маркеров в генетике, селекции и семеноводстве лесных древесных растений // Лесные культуры, селекция древесных пород на юге Русской равнины: материалы межрегион. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения доц. Еньковой Елизаветы Ивановны. Воронеж: ВГЛТА, 2007. С. 10–35.

Butorina A.K., Mashkina O.S., Kamalova I.I. The Use of Molecular Marker in Genetics, Selection and Seed Production of Forest Woody Plants. *Forest Crops, Tree Species Breeding in the South of the Russian Plain: Materials of the Interregional Conference, Dedicated to the 95th Anniversary of Associate Professor En'kova Elizaveta Ivanovna*. Voronezh, Voronezh State Academy of Forestry and Technologies Publ., 2007, pp. 10–35. (In Russ.).

6. Видякин А.И. Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореал. зоны. 2010. Т. XXVII, № 1–2. С. 18–24.

Vidyakin A.I. Efficiency of Plus Selection of Trees. *Khvoynye borealnoi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2010, vol. XXVII, no. 1–2, pp. 18–24. (In Russ.).

7. Гостимский С.А., Кокаева З.Г., Коновалов Ф.А. Изучение организации и изменчивости генома растений с помощью молекулярных маркеров // Генетика. 2005. Т. 41, № 4. С. 480–492.

Gostimskiy S.A., Kokaeva Z.G., Kononov F.A. Studying Plant Genome Variation Using Molecular Markers. *Genetika* = Russian Journal of Genetics, 2005, vol. 41, iss. 4, pp. 378–388. (In Russ.). <https://doi.org/10.1007/s11177-005-0101-1>

8. Ефимов В.М., Тараканов В.В., Роговцев Р.В. Применение методов многомерной статистики для ранней диагностики лучших по росту популяций сосны в географических культурах // Хвойные бореал. зоны. 2010. Т. XXVII, № 1–2. С. 58–62.

Efimov V.M., Tarakanov V.V., Rogovtsev R.V. Application of Multivariate Statistics Methods for Early Diagnostics of Fast-Growing Populations in Pine Provenance Trials. *Khvoynye borealnoi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2010, vol. XXVII, no. 1–2, pp. 58–62. (In Russ.).

9. Ефимов Ю.П. Генетико-селекционная оценка объектов постоянной лесосеменной базы // Генетика и селекция – на службе лесу: материалы междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: НИИЛГиС, 1997. С. 298–307.

Efimov Yu.P. Genetic and Breeding Assessment of Permanent Forest Seed Base Objects. *Genetics and Breeding – at the Service of the Forest: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Voronezh, Research Institute of Forest Genetics Publ., 1997, pp. 298–307. (In Russ.).

10. Ефимов Ю.П. Современные проблемы и перспективы улучшения лесов селекционно-генетическими методами // Лесохоз. информ. 2008. № 3–4. С. 30–32.
- Efimov Yu.P. Current Problems and Prospects for Improving Forests Using Selection and Genetic Methods. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya* = Forestry Information, 2008, no. 3–4, pp. 30–32. (In Russ.).
11. Ефимов Ю.П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной. Воронеж: Истоки, 2010. 253 с.
- Efimov Yu.P. *Seed Plantations in Breeding and Seed Production of Scots Pine*. Voronezh, Istoki Publ., 2010. 253 p. (In Russ.).
12. Ильинов А.А., Раевский Б.В. Сравнительная оценка генетического разнообразия естественных популяций и клоновых плантаций сосны обыкновенной и ели финской в Карелии // Экол. генетика. 2015. Т. XIII, № 4. С. 55–67.
- Ilinov A.A., Raevsky B.V. Genetic Diversity Comparative Evaluation of *Pinus sylvestris* L. and *Picea × Fennica* (Regel) Kom. Native Populations and Clonal Seed Orchards in Russian Karelia. *Ekologicheskaya genetika* = Ecological Genetics, 2015, vol. XIII, no. 4, pp. 55–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/ecogen13455-67>
13. Ирошников А.И. Генетические факторы устойчивости и продуктивности лесных биоценозов // Продуктивность и стабильность лесных экосистем: тез. докл. Междунар. симп. Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1982. С. 28–29.
- Iroshnikov A.I. Genetic Factors of Stability and Productivity of Forest Biocenoses. *Productivity and Stability of Forest Ecosystems: Abstracts of the Reports of the International Symposium*. Krasnoyarsk, Institute of Forest and Wood, 1982, pp. 28–29. (In Russ.).
14. Кальченко Л.И., Тараканов В.В. Поэтапная паспортизация деревьев на клоновых плантациях сосны обыкновенной: использование метода фенетики // Хвойные бореал. зоны. 2010. Т. XXVII, № 1–2. С. 87–90.
- Kalchenko L.I., Tarakanov V.V. Gradual Passportisation of Trees in Pine Clone Orchards: Using the Methods of Phenetics. *Khvoynye borealnoi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2010, vol. XXVII, no. 1–2, pp. 87–90. (In Russ.).
15. Коршиков И.И., Демкович А.Е. Генетический полиморфизм клонов и их семенного потомства в архивно-клоновой плантации плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Цитология и генетика. 2010. Т. 44, № 1. С. 36–45.
- Korshikov I.I., Demkovich A.E. Genetic Polymorphism of Clones and Their Seed Progeny in the Scotch Pine Clone Plantation. *Cytology and Genetics*, 2010, vol. 44, no. 1, pp. 36–45 (In Russ.).
16. Кострикин В.А., Беспаленко О.Н., Котельников Д.С., Порываев М.В. Опыт создания архива клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной в Моршанском лесничестве Тамбовской области // Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновленных лесных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию высш. лесн. образования в г. Воронеже и ЦЧР России. Воронеж, 2018. Т. 1. С. 542–550.
- Kostrikin V.A., Bepalenko O.N., Kotel'nikov D.S., Poryvaev M.V. Experience in Creating an Archive of Clones of Scots Pine Plus Trees in the Morshanskiy Forestry of the Tambov Region. *Ecological and Biological Basis for Increasing the Productivity and Sustainability of Natural and Artificially Regenerated Forest Ecosystems: Materials of the International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 100th Anniversary of Higher Forestry Education in Voronezh and Central-Chernozem Economic Region*. Voronezh, 2018, vol. 1, pp. 542–550. (In Russ.).
17. Лакин Г.Ф. Биометрия. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.
- Lakin G.F. *Biometry*. 3rd ed., revised and enlarged. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980. 293 p. (In Russ.).

18. Милутина Т.Н., Шейкина О.В., Новиков П.С. Молекулярно-генетические исследования изменчивости клонов плюсовых деревьев *Pinus sylvestris* по ISSR-маркерам // Хвойные бореал. зоны. 2013. Т. XXXI, № 1–2. С. 102–105.

Milutina T.N., Sheikina O.V., Novikov P.S. Molecular Genetic Studies of the Variability of *Pinus sylvestris* Plus Tree Clones Using ISSR Markers. *Khvoynye borealnoi zony = Conifers of the Boreal Area*, 2013, vol. XXXI, no. 1–2, pp. 102–105. (In Russ.).

19. Новиков П.С., Шейкина О.В., Милутина Т.Н. Изменчивость плюсовых деревьев сосны обыкновенной на архиве клонов по ISSR-маркерам // Вестн. Марийск. гос. техн. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 82–87.

Novikov P.S., Sheikina O.V., Milutina T.N. Variation of *Pinus sylvestris* Plus Trees on the Clone Archive in Accordance with ISSR Markers. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie = Vestnik of the Mari State University. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2011, no. 3, pp. 82–87. (In Russ.).

20. Падутов В.Е. Генетические и биотехнологические основы рационального использования лесных генетических ресурсов Беларуси // Лесохоз. информ. 2008. № 3–4. С. 23–24.

Padutov V.E. Genetic and Biotechnological Foundations for the Rational Use of Forest Genetic Resources in Belarus. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya = Forestry Information*, 2008, no. 3–4, pp. 23–24. (In Russ.).

21. Политов Д.В. Применение молекулярных маркеров в лесном хозяйстве для идентификации, инвентаризации и оценки генетического разнообразия лесных ресурсов // Лесохоз. информ. 2008. № 3–4. С. 24–27.

Politov D.V. Application of Molecular Markers in Forestry for Identification, Inventory and Assessment of Genetic Diversity of Forest Resources. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya = Forestry Information*, 2008, no. 3–4, pp. 24–27. (In Russ.).

22. Потылев В.Г. Проблемы лесного селекционного семеноводства // Лесохоз. информ. 1997. № 3. С. 14–30.

Potylev V.G. Problems of Forest Breeding Seed Production. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya = Forestry Information*, 1997, no. 3, pp. 14–30. (In Russ.).

23. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 191 с.

Pravdin L.F. *Scots Pine. Variation, Intraspecific Taxonomy and Selection*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 191 p. (In Russ.).

24. Семериков Л.Ф., Исаков Ю.Н., Тараканов В.В., Семериков В.Л., Глотов Н.В. О генетико-селекционном аспекте сохранения и улучшения лесов России (окончание) // Лесохоз. информ. 1998. № 10. С. 29–40.

Semerikov L.F., Isakov Yu.N., Tarakanov V.V., Semerikov V.L., Glotov N.V. On the Genetic and Selection Aspect of the Conservation and Improvement of Russian Forests (End). *Lesokhozyaistvennaya informatsiya = Forestry Information*, 1998, no. 10, pp. 29–40. (In Russ.).

25. Царев А.П. Программы лесной селекции в России и за рубежом: моногр. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2013. 164 с.

Tsarev A.P. *Forest Breeding Programs in Russia and Abroad: Monograph*. Moscow, MSFU Publ., 2013. 164 p. (In Russ.).

26. Царев А.П., Лаур Н.В. Вопросы и проблемы плюсовой селекции // Лесн. вестн. 2006. № 5. С. 118–123.

Tsarev A.P., Laur N.V. Issues and Problems of Plus Selection. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2006, no. 5, pp. 118–123. (In Russ.).

27. Шейкина О.В., Гладков Ю.Ф. Обоснование показателей генетического разнообразия для лесосеменных плантаций сосны обыкновенной в Республике Марий Эл // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2016. № 4(60). С. 73–76.

Sheikina O.V., Gladkov Yu.F. Substantiation of Indicators of Genetic Viability of Forest-Seed Plantations of Scotch Pine in the Republic of Mary El. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University, 2016, no. 4(60), pp. 73–76. (In Russ.).

28. Шейкина О.В., Лебедева Э.П., Шигапов З.Х. Фенотипическая и генетическая изменчивость клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации в Чувашской Республике: моногр. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. 160 с.

Sheikina O.V., Lebedeva E.P., Shigapov Z.Kh. *Phenotypic and Genetic Variability of Clones of Plus Trees of Scotch Pine on a Forest Seed Plantation in the Chuvash Republic*: Monograph. Yoshkar-Ola, Volga State University of Technology Publ., 2013. 160 p. (In Russ.).

29. Шейкина О.В., Романов Е.М. SSR-анализ плюсовых деревьев сосны обыкновенной из Республики Марий Эл // Лесохоз. информ. 2023. № 2. С. 91–101.

Sheikina O.V., Romanov E.M. SSR-Analysis of *Pinus sylvestris* Plus Trees from Mari El Republic. *Lesokhozyajstvennaya informatsiya* = Forestry Information, 2023, no. 2, pp. 91–101. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.07>

30. Шигапов З.Х. Сравнительный генетический анализ лесосеменных плантаций и природных популяций сосны обыкновенной // Лесоведение. 1995. № 3. С. 19–24.

Shigapov Z.Kh. Comparative Genetic Analysis of Forest Seed Plantations and Natural Populations of Scots Pine. *Lesovedenie* = Russian Forest Sciences, 1995, no. 3, pp. 19–24. (In Russ.).

31. Шигапов З.Х., Тимерьянов А.Ш., Ямбаев Ю.А., Шигапова А.И. Динамика генетической структуры потомства по годам на лесосеменной плантации и в природной популяции сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. // Генетика. 1996. Т. 32, № 10. С. 1363–1370.

Shigapov Z.Kh., Timer'yanov A.Sh., Yanbaev Yu.A., Shigapova A.I. The Dynamics of the Genetic Structure of Offspring by Year on a Forest Seed Plantation and in the Natural Population of Scots Pine *Pinus sylvestris* L. *Genetika* = Russian Journal of Genetics, 1996, vol. 32, no. 10, pp. 1363–1370 (In Russ.).

32. Andersson B., Elfving B., Persson T., Ericsson T., Kroon J. Characteristics and Development of Improved *Pinus sylvestris* in Northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 2007, vol. 37, no. 1, pp. 84–92. <https://doi.org/10.1139/x06-224>

33. Androsiuk P., Zielinski R., Polok K. B-SAP Markers Derived from the Bacterial KatG Gene Differentiate Populations of *Pinus sylvestris* and Provide New Insights into Their Postglacial History. *Silva Fennica*, 2011, vol. 45, no. 1, art. no. 29. <https://doi.org/10.14214/sf.29>

34. Ackzell L. A Comparison of Planting, Sowing and Natural Regeneration for *Pinus sylvestris* (L.) in Boreal Sweden. *Forest Ecology and Management*, 1993, vol. 61, iss. 3–4, pp. 229–245. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90204-Z](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90204-Z)

35. Eding H., Crooijmans R.P.M.A., Groenen M.A.M., Meuwissen T.H.E. Assessing the Contribution of Breeds to Genetic Diversity in Conservation Schemes. *Genetics Selection Evolution*, 2002, vol. 34, art. no. 613. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-34-5-613>

36. Feng F.-J., Wang F.-Y., Liu T. The Influence Factors of the ISSR-PCR Experiment System on *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. *Chinese Bulletin of Botany*, 2004, vol. 21, iss. 3, pp. 326–331.

37. Feng F.-J., Han S.-J., Wang H.-M. Genetic Diversity and Genetic Differentiation of Natural *Pinus koraiensis* Population. *Journal of Forestry Research*, 2006, vol. 17, pp. 21–24. <https://doi.org/10.1007/s11676-006-0005-5>

38. Gömöry D., Bruchánik R., Paule L. Effective Population Number Estimation of Three Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seed Orchards Based on an Integrated Assessment of Flowering, Floral Phenology, and Seed Orchard Design. *Forest Genetics*, 2000, vol. 7, iss. 1, pp. 65–75.

39. Gömöry D., Bruchánik R., Longauer R. Fertility Variation and Flowering Asynchrony in *Pinus sylvestris*: Consequences for the Genetic Structure in Seed Orchards. *Forest Ecology and Management*, 2003, vol. 174, iss. 1–3, pp. 117–126. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00031-2)
40. Haapanen M., Hynynen J., Ruotsalainen S., Siipilehto J., Kilpeläinen M.-L. Realized and Projected Gains in Growth, Quality and Simulated Yield of Genetically Improved Scots Pine in Southern Finland. *European Journal of Forest Research*, 2016, vol. 135, pp. 997–1009. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0989-0>
41. Haapanen M., Ruotsalainen S. Adaptive Performance of Genetically Improved and Unimproved Seedlings of Scots Pine. *Silva Fennica*, 2021, vol. 55, no. 5, art. no. 10534. <https://doi.org/10.14214/sf.10534>
42. Huili W., Shuxue Y., Li G., Hailong L., Wei L. Genetic Diversity Assessment and Fingerprint Construction of Superior Tree Populations of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. *Journal of GANSU Agricultural University*, 2022, vol. 57, iss. 3, art. no. 057. <https://doi.org/10.13432/j.cnki.jgsau.2022.03.013>
43. Jansson G., Hansen J.K., Haapanen M., Kvaalen H., Steffenrem A. The Genetic and Economic Gains from Forest Tree Breeding Programmes in Scandinavia and Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2017, vol. 32, iss. 4, pp. 273–286. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1242770>
44. Ivetić V., Devetaković J., Nonić M., Stanković D., Šijačić-Nikolić M. Genetic Diversity and Forest Reproductive Material – from Seed Source Selection to Planting. *iForest-Biogeosciences Forestry*, 2016, vol. 9, iss. 5, pp. 801–812. <https://doi.org/10.3832/ifor1577-009>
45. Kroon J. *Spatiotemporal Patterns of Genetic Variation for Growth and Fertility in Scots Pine*. Doctoral Thesis. Umeå, Swedish University of Agricultural Sciences, 2011. 59 p.
46. Li L., Lejing L., Zhiyong Z., Bo L., Jie R. Construction of SSR Fingerprint and Genetic Diversity Analysis of 93 Maple Germplasm Resources. *Molecular Plant Breeding*, 2022, vol. 20, iss. 4, pp. 1250–1263. <https://doi.org/10.13271/j.mpb.020.001250>
47. Wasielewska M., Klemm M., Burczyk J. Genetic Diversity and Mating System of Scots Pine Plus Trees. *Dendrobiology*, 2005, vol. 53, pp. 57–62.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest