

АЛГОРИТМ ОТБОРА ПЛЮСОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ И ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В БОЛЬШИХ ЛЕСНЫХ МАССИВАХ

Ю.П. Демаков[✉], О.В. Шейкина, Е.С. Шарапов, А.С. Королев

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

DemakovYP@volgatech.net

Представлено распределение древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Республики Марий Эл по классам их бонитета, показаны особенности возрастных изменений пропорций между различными параметрами ствола и кроны нормальных и «плюсовых» деревьев, проведен анализ наследуемости их фенотипических признаков на 30-летней коллекции клонов. Сделан вывод о том, что селекционная инвентаризация насаждений, как и вся работа по селекции древесных растений, нуждается в настоящее время в пересмотре. Наибольшую селекционную ценность имеют уникальные по своим свойствам ценопопуляции, а не отдельные «плюсовые» деревья, размеры которых, особенно диаметр, не связаны с производительностью древостоев. Для адекватной оценки селекционной ценности ценопопуляции ее таксационные параметры необходимо сравнивать с эталоном, в качестве которого выступают региональные модальные древостои, динамику характеристик которых описывают соответствующие математические уравнения.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, селекция, ценопопуляции, плюсовые деревья, оценка, эталоны сравнения

Ссылка для цитирования: Демаков Ю.П., Шейкина О.В., Шарапов Е.С., Королев А.С. Алгоритм отбора плюсовых насаждений и деревьев сосны обыкновенной в больших лесных массивах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 6. С. 21–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-6-21-39

Актуальность данного направления исследований обусловлена необходимостью совершенствования системы мероприятий по повышению эколого-ресурсного потенциала лесов России, важное место в которой отводится интенсивным технологиям его искусственного воспроизводства [1–7] и использованию улучшенного посадочного материала [8–13]. Эффективность всех мероприятий по созданию объектов постоянной лесосеменной базы и получению добротных семян во многом зависит от качества селекционной инвентаризации лесного фонда в каждом конкретном регионе, в ходе которой выделяют наиболее ценные древостои и лучшие (плюсовые) деревья, обладающие высоким жизненным потенциалом и хорошей наследственностью, что проявляется в их различных фенотипических и генотипических признаках [6, 11–19].

К 2019 г. в Российской Федерации насчитывалось 14,0 тыс. га плюсовых насаждений 31 вида древесных растений [20], что явно недостаточно для проведения селекционной работы и со-

хранения ценного генофонда крупной лесной державы. Основные работы по селекционной инвентаризации были выполнены еще в 1970–1980 гг., когда началась реализация государственных программ по лесному семеноводству, и поэтому большая часть выделенных плюсовых древостоев имеет большой возраст [21].

В настоящее время назрела острая необходимость проведения массовых работ по выделению плюсовых насаждений по всем основным лесообразующим видам, для чего требуется разработка четкого алгоритма селекционной инвентаризации, в котором следует описать не только порядок действий, но и указать жесткие критерии отбора. В нормативных документах [22, 23] все это прописано, к сожалению, нечетко, часто теоретически не обосновано, что приводит на практике к снижению качества выполняемых работ и серьезным ошибкам [24–27], неудачам в плюсовой селекции [11–13, 15]. Так, например, в Республике Карелии из 471 га плюсовых насаждений, отобранных к 2012 г., только 169,5 га (35,9 %) характеризуются высоким уровнем отбора [28]. К плюсовым отнесены в ряде случаев даже древостои III класса бонитета, хотя в этих же лесорастительных условиях

часто встречаются гораздо более производительные насаждения [25, 29, 30].

Основная ошибка методики селекционной инвентаризации лесов заключается в том, что плюсовые древостои выбирают согласно требованиям, изначально изложенным в Наставлениях по лесосеменному делу (1963) [22], по долевому участию в них плюсовых и минусовых деревьев, количества которых может варьировать от 20 до 30 % в зависимости от полноты насаждений. Такого подхода к выделению плюсовых древостоев придерживаются до настоящего времени многие исследователи [25, 31–33], хотя в новом нормативном документе [23] об этом уже не упоминается.

Селекционная инвентаризация насаждений и так называемая «плюсовая» селекция древесных растений — это отдельные части общей системы лесной селекции, которая, по утверждению проф. М.В. Рогозина [13], сейчас зашла в тупик, нуждается в срочной ревизии и смене научной парадигмы.

Актуальным стало выделение ценного генома сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которая широко распространена в России и характеризуется большой фенотипической неоднородностью, приобретенной ею в ходе длительной эволюции, происходившей, как правило, в крайне изменчивых условиях среды [14, 34–39]. Сложившееся разнообразие генотипов этого вида, поставляющее материал для естественного и искусственного отбора особей, является необходимым условием устойчивого существования и развития ценопопуляций.

Цель работы

Цель работы — совершенствование методики отбора перспективных в хозяйственном отношении ценопопуляций и деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на примере больших лесных массивов Республики Марий Эл.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись сосновые леса Республики Марий Эл, доминирующие в ее лесном фонде, которые занимают 39,5 % площади [40]. Их структура весьма разнообразна, что обусловлено большим влиянием хозяйственной деятельности человека и различных природных факторов, среди которых особое значение имеют лесные пожары. Республика расположена в умеренном климатическом поясе атлантико-континентальной области юго-западной подобласти, средняя годовая температура воздуха изменяется от 0 до 5,4 °C, абсолют-

ный годовой минимум температуры составляет -52°C , а абсолютный максимум $+38^{\circ}\text{C}$. Средняя продолжительность теплого периода года (температура воздуха выше 0°C) составляет 200...208 сут., а сумма положительных температур выше 10°C равна 1900...2200 °C. За год выпадает в среднем 475...550 мм осадков, из которых 335...385 мм приходится на теплый период (апрель — октябрь). Гидротермический коэффициент варьирует по годам от 0,3 до 2,7 ед., составляя в среднем 1,1...1,2.

Материалом для анализа служила электронная повыделенная база данных, содержащая детальную таксационную характеристику древостоев всех лесничеств республики (более 400 тыс. выделов общей площадью 1 165 628 га). Матрица исходных данных в этой базе данных представляет собой систему строк, каждая из которых соответствует одному таксационному выделу, и столбцов, отражающих значение одного из многочисленных таксационных параметров древостоя. Дальнейшая работа с базой данных заключалась в последовательной сортировке цифрового материала по типу лесорастительных условий (ТЛУ), типу леса, возрасту и доле участия древесной породы [40]. Для окончательного анализа были отобраны только древостои, произрастающие в сухих, свежих и влажных борах, а также свежих субборах, в которых на долю участия сосны приходится не менее 50 %. Использованы также сведения о 370 плюсовых деревьях, приведенные в их официально оформленных паспортах, и эмпирические данные, собранные на 11 постоянных пробных площадях, заложенных в чистых одновозрастных сосновых древостоях, различающихся по происхождению, возрасту, густоте и условиям произрастания, каждая из которых включала в себя не менее 200 живых деревьев, разбитых при учете на ступени толщины и классы развития по Г. Крафту.

Цифровой эмпирический материал был обработан стандартными методами математической статистики [41–45] с использованием пакетов прикладных программ Excel и Statistica 10.

Результаты и обсуждение

В существующей методике селекционной инвентаризации лесов имеется, на наш взгляд, два существенных недостатка: 1) логическая невязка, выражаяющаяся в нарушении соподчиненности систем разного уровня (древостоя и отдельного дерева); 2) отсутствие четких количественных критериев, отличающих плюсовые деревья от обычных (нормальных). Отмечается, что они должны быть выше обычных на 10 % и

Таблица 1

**Распределение по классам бонитета количества выделов древостоев
в различных типах леса Республики Марий Эл с преобладанием
в них сосны обыкновенной**

**Distribution by growth classes of the number of stand allotments in various types of forests
of the Republic of Mari El with a predominance of Scots pine in them**

Тип лесорастительных условий	Тип леса	Число выделов, шт.	Доля древостоев разных классов бонитета, %					
			Ia	I	II	III	IV	V
A ₁	Лишайниковый	9499	0,01	0,76	38,32	56,78	3,97	0,16
A ₂	Брусничниковый	16 148	0,04	34,25	56,06	9,28	0,33	0,04
A ₂	Зеленомошниковый	8801	0,06	48,07	44,44	7,24	0,19	0,00
A ₃	Черничниковый	6621	0,00	55,20	38,65	6,01	0,14	0,00
B ₂	Кисличниковый	15 429	0,68	75,83	20,42	2,90	0,14	0,03

Таблица 2

**Математические модели динамики средней высоты и среднего диаметра
ствола деревьев сосны в различных типах леса Марийского Заволжья**

**Dynamics mathematical models of the average tree height and average trunk diameter
in Pine forests of various forest types in the Mari El Volga Region**

Тип леса	N	Параметры							
		$H = K \cdot [1 - \exp(-a \cdot 10^{-3} \cdot A)]^b$				$D = K \cdot (1 - \exp(-a \cdot 10^{-3} \cdot (A - b)))$			
		K	a	b	R ²	K	a	b	R ²
Лишайниковый	9499	25,3	27,93	1,869	0,937	44,8	11,18	9	0,895
Брусничниковый	15 990	25,9	35,52	2,102	0,940	44,6	12,27	8	0,921
Зеленомошниковый	8667	26,5	37,17	2,254	0,918	46,9	11,44	8	0,912
Черничниковый	6257	26,6	38,06	2,392	0,911	44,7	12,47	8	0,875
Кисличниковый	13 667	27,3	38,78	2,149	0,920	47,5	12,67	8	0,822

Примечание: N — количество таксационных выделов (объем выборки, шт.); H — средняя высота древостоя, м; D — средний диаметр древостоя, см; A — возраст древостоя, лет; K, a, b — безразмерные коэффициенты уравнений.

толще на 30 %. В любом древостое, однако, деревья хорошо дифференцированы по размерам и всегда можно найти особи, различающиеся по этим параметрам. Плюсовые деревья должны быть не только лучшими в ценопопуляции, но и наилучшими из всей совокупности особей, произрастающих в каждом конкретном типе лесорастительных условий. Их можно обнаружить в любой ценопопуляции, однако вероятность этого невелика. Аномальные по своим размерам деревья будут в этом случае отличаться от средних значительно больше чем на 10...30 %.

Отбор плюсовых деревьев может дать хорошие результаты в этом случае далеко не всегда, поэтому браться за него сразу, как справедливо указано в работах М.В. Рогозина [11–13], не имеет особого смысла. Вначале нужен поиск популяций, особо выделяющихся среди остальных по своим таксационным характеристикам, одной из которых может стать, в первом при-

ближении, класс бонитета древостоя, сравнительно точно и уверенно определяемый таксаторами на практике. Анализ исходных данных показал большую вариабельность величины этого параметра (табл. 1), что свидетельствует о селекционной неоднородности ценопопуляций и больших возможностях для их отбора. Плюсовые древостои, как видно из представленных данных (см. табл. 1), должны быть не ниже I класса бонитета, однако долевое участие их во всех типах леса, за исключением лишайниковых, очень велико и далеко не все из них могут быть кандидатами на включение в эту категорию. Следует также отметить, что класс бонитета древостоев, как показали наши исследования [40], не остается постоянным, а довольно значительно изменяется во времени.

Все отмеченное выше указывает на непригодность использования класса бонитета для селекционной оценки насаждений и необходи-

Таблица 3

Динамика средних значений высоты и диаметра стволов деревьев в сосняках различных типов леса Марийского Заволжья

**Dynamics of average tree height and trunk diameter
in Pine forests in the Mari El Volga Region**

Тип леса	Параметры деревьев различного возраста, лет							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Средняя высота деревьев, м								
Лишайниковый	8,8	12,1	14,9	17,2	19,0	20,5	21,6	22,5
Брусличниковый	10,7	14,5	17,5	19,9	21,6	22,8	23,7	24,4
Зеленомошниковый	10,8	14,9	18,1	20,5	22,3	23,5	24,4	25,1
Черничниковый	10,6	14,8	18,1	20,6	22,4	23,7	24,6	25,2
Кисличниковый	12,2	16,4	19,6	21,9	23,6	24,7	25,5	26,1
Средний диаметр ствала, см								
Лишайниковый	9,4	13,1	16,5	19,5	22,1	24,5	26,7	28,6
Брусличниковый	10,6	14,5	18,0	21,0	23,8	26,2	28,3	30,2
Зеленомошниковый	10,4	14,4	17,9	21,0	23,8	26,3	28,5	30,5
Черничниковый	10,7	14,7	18,2	21,3	24,1	26,5	28,6	30,5
Кисличниковый	11,6	15,8	19,6	22,9	25,8	28,4	30,7	32,7

мость его замены другими более информативными количественными признаками, главными из которых являются средняя высота и средний диаметр древостоя. В качестве теоретической основы в этом случае выступают правила математической статистики, в частности закон Гаусса — Лапласа распределения отклонения величины оцениваемого показателя от его среднего значения в выборке или генеральной совокупности [44].

Согласно этому закону к числу наиболее перспективных в селекционном отношении следует относить древостои, которые превышают среднюю величину конкретного таксационного параметра на его удвоенное среднеквадратическое отклонение. Каждый из этих параметров, как показали расчеты, четко изменяется с увеличением возраста древостоев, что с высокой точностью описывают соответствующие математические уравнения (табл. 2). Плюсовые будут являться насаждения с превышением средней расчетной высоты и диаметра стволов соответственно на 35..45 % (табл. 3). Плюсовые же деревья должны быть в них на 25 % выше средних и на 60 % толще.

Анализ данных по плюсовым насаждениям, отобранных в разных типах лесорастительных условий (рис. 1), показал, что только небольшая часть из них может быть отнесена к категории селекционно-перспективных (рис. 2). Выбор древостоев II, а особенно III класса бонитета, является явно неудачным, поскольку они не являются лучшими в соответствующих ТЛУ. Неудачен также выбор в насаждениях плюсовых

деревьев, основная доля которых превышает по размерам среднее значение ниже установленного порога, особенно по высоте (рис. 3). При таком их отборе получить положительный результат от селекции невозможно. Отбор следует значительно ужесточить: деревья должны быть не просто лучшими в древостое, а резко выделяться среди остальных.

Значения всех морфологических признаков отобранных плюсовых деревьев, как показал анализ исходных данных, изменяются в очень больших пределах (табл. 4). Основным фактором их варьирования является при этом фенотип деревьев, вносящий основной вклад в дисперсию признаков, а не их возраст (рис. 4). Различия между деревьями особенно четко проявляются в характере соотношений у них оцениваемых параметров ствала и кроны (рис. 5), отражающих посредством морфологии особенности физиологии, стратегии жизни и взаимодействия со средой обитания каждой особи в ценопопуляции. Все это свидетельствует о слабой обоснованности методики отбора плюсовых деревьев и отсутствии в ней четких критериев оцениваемых параметров, которые непосредственно отражают генотип особи, определяя ее ценность в достижении конечного результата селекционной работы.

При проведении селекционной работы вначале следует ответить на вопрос: имеется ли вообще наследуемость признаков деревьев, особенно по скорости роста, на которую в основном и ориентируются исследователи. Оказалось, однако, что наследуемость признака

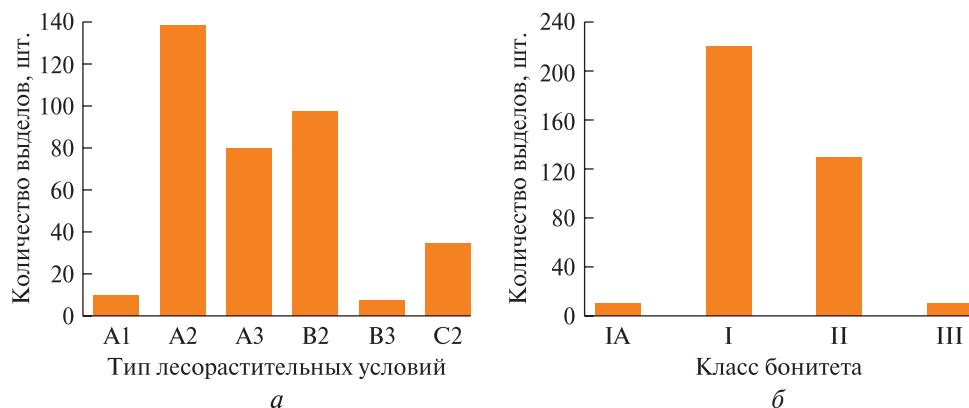


Рис. 1. Характер распределения количества плюсовых древостоев сосны по условиям произрастания (а) и классам бонитета (б)

Fig. 1. Distribution of plus Pine stands by growing conditions (a) and growth classes (b)

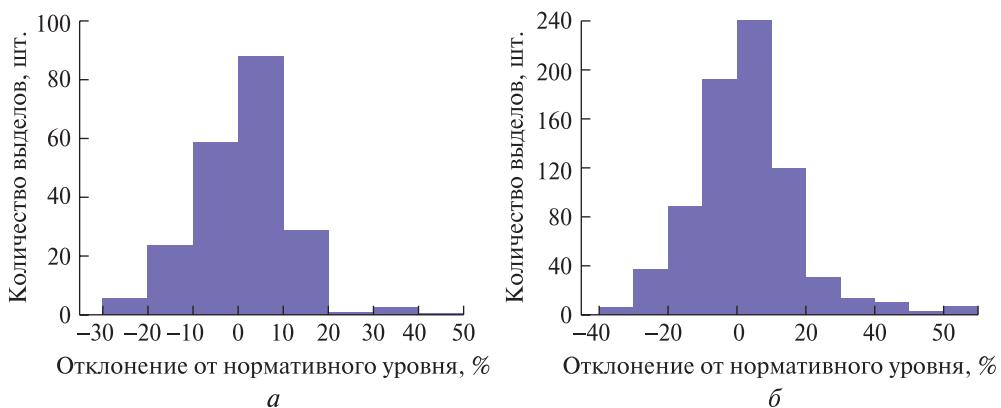


Рис. 2. Гистограммы распределения отклонения фактических значений параметров выделенных плюсовых древостоев сосны от нормативных: а — средняя высота дерева; б — средний диаметр ствола

Fig. 2. Distribution histograms of the actual parameter deviations values of identified plus Pine stands from standard values: а — average tree height; б — average trunk diameter

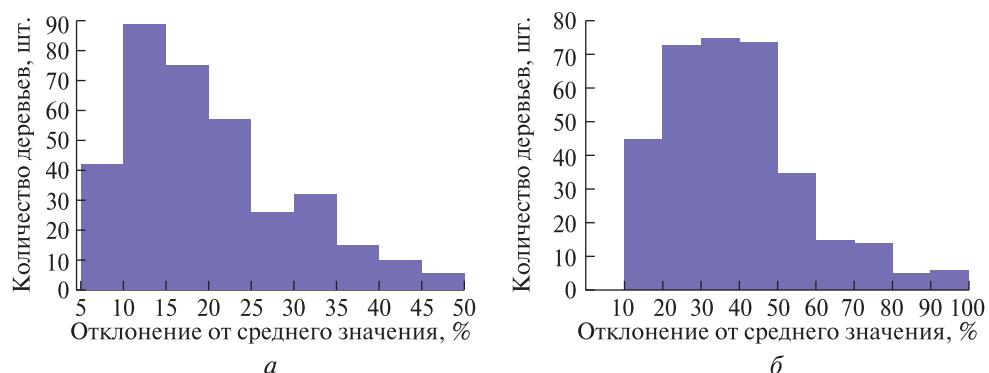


Рис. 3. Гистограммы распределения отклонения фактических значений параметров выделенных плюсовых деревьев сосны от средних для древостоя: а — средняя высота дерева; б — средний диаметр ствола

Fig. 3. Distribution histograms of the actual parameter deviations values of identified plus Pine stands from standard values: а — average tree height; б — average trunk diameter

Таблица 4

**Границы вариабельности параметров плюсовых деревьев сосны
в лесах Республики Марий Эл**

Variability of plus Pine tree parameters in the forests of the Mari El Republic

Параметр	Значения статистических показателей				
	mid	min	max	Размах	S_x
Высота дерева H , м	28,8	21,7	37,0	15,3	2,60
Диаметр ствола D , см	37,7	18,2	64,0	45,8	6,46
Отношение H/D , м/см	0,78	0,50	1,24	0,74	0,09
Диаметр кроны d , м	4,28	2,0	8,0	6,0	1,17
Отношение d/D , м/м	11,4	5,6	24,7	19,1	2,40
Протяженность кроны L , м	9,07	2,0	15,0	13,0	2,36
Отношение L/H , %	31,7	6,5	50,9	44,5	8,0
Отношение L/d , м/м	2,23	0,50	4,40	3,90	0,70
Протяженность бессучковой зоны	М	15,5	7,0	25,0	18,0
	%	53,4	31,1	80,0	48,9
					9,2

Примечание: mid — среднее арифметическое значение параметра; S_x — среднеквадратическое отклонение параметра.

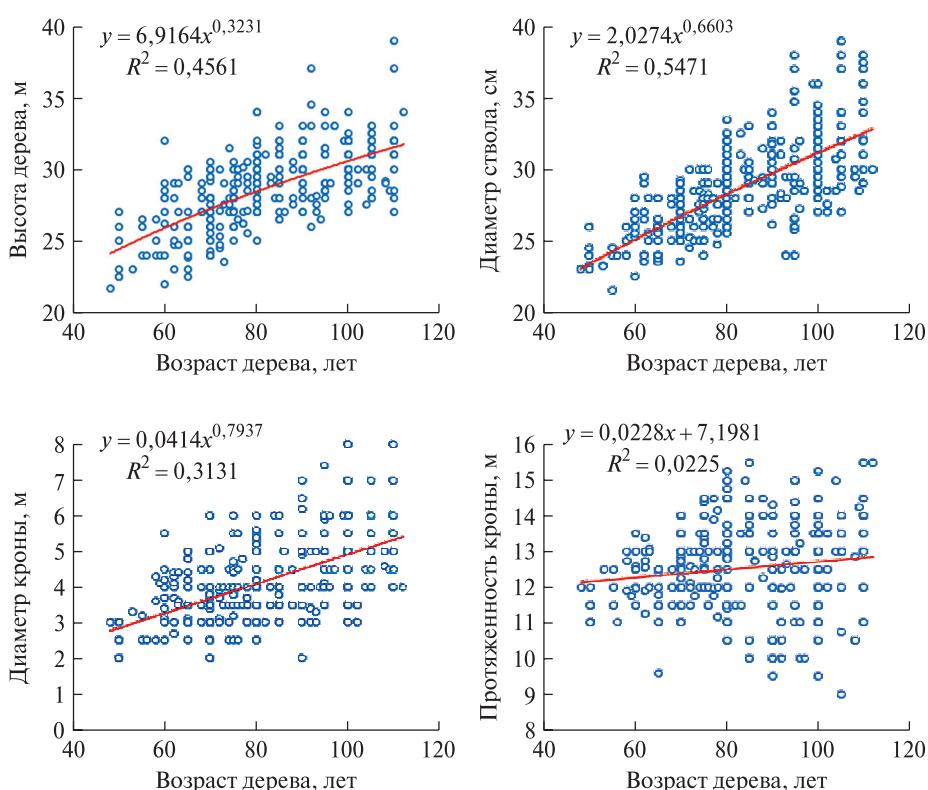


Рис. 4. Изменение оцениваемых параметров плюсовых деревьев сосны с их возрастом
Fig. 4. Changes in the assessed parameters of plus pine trees with advancing age

высоты у деревьев сосны обыкновенной, согласно данным из работ [11–13], с увеличением возраста их семенного потомства неуклонно стремится к нулю, т. е. происходит стабилизирующий отбор особей. У средних же по размерам родительских деревьев частота встречаемости лучшего потомства была при этом

существенно выше. В архиве 49 клонов плюсовых деревьев этой породы, созданном в Северном Казахстане, доля влияния генотипа на высоту особей составила, по данным работы [27], 49,0 %, а на диаметр — 22,6 %. Нижегородскими исследователями [46, 47] у клонов сосны обыкновенной установлена довольно высо-

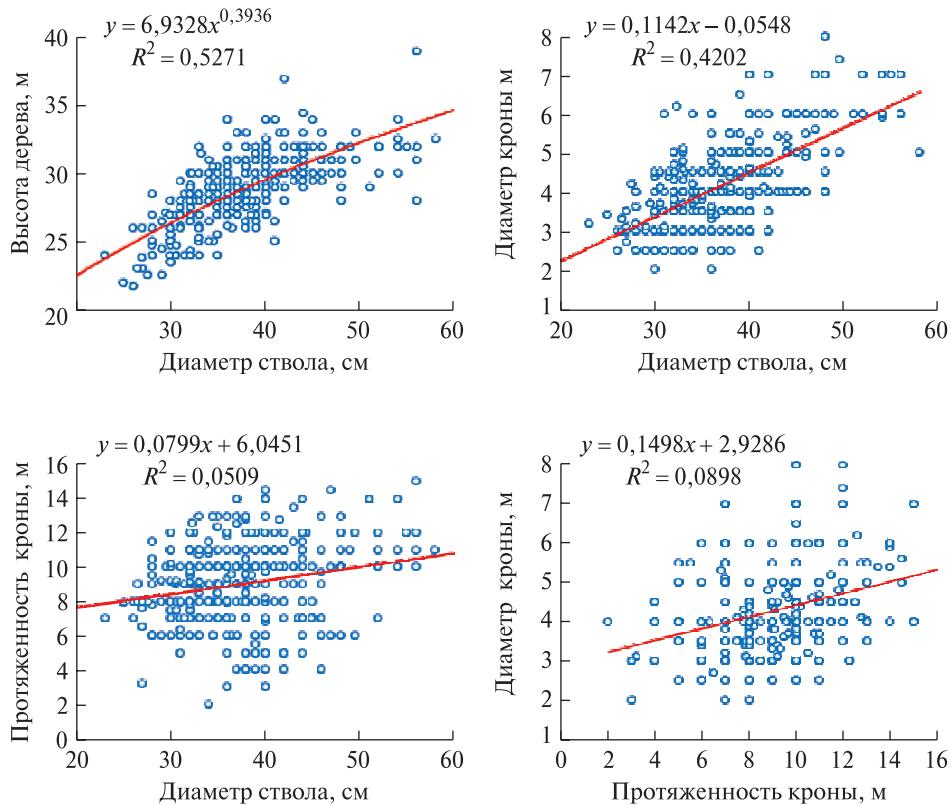


Рис. 5. Характер соотношений между оцениваемыми параметрами плюсовых деревьев сосны
Fig. 5. Nature of the relationships between the assessed parameters of plus pine trees

Таблица 5

Пределы и закономерности изменчивости оцениваемых параметров на опытном объекте

Limits and patterns of variability of the assessed parameters in the trial plot

Параметр	Значения статистических показателей ($n = 262$)				
	$M \pm m$	min	max	S_x	H^2
Диаметр дерева, см	$25,3 \pm 0,2$	10,8	33,0	3,21	26,4
Плотность древесины, кг/м ³	$358 \pm 1,7$	291	446	27,8	61,8
Влажность древесины, %	$145,5 \pm 1,4$	66,3	197,8	22,8	18,9

Примечание: $M \pm m$ — среднее значение параметра и его ошибка; min, max — минимальное и максимальное значения параметра; S_x — среднеквадратическое отклонение значений; H^2 — коэффициент наследуемости параметра.

кая наследуемость морфологических и физиологических признаков хвои, а также репродуктивных органов, которые, в свою очередь, слабо коррелируют с размерами деревьев. Это связано с тем, что скорость роста организмов не наследуется, поскольку является полигенным признаком, определяемым набором генов, спектр и число вырабатываемых продуктов которых трансформируются в процессе онтогенеза особей под действием факторов среды и не могут быть описаны языками традиционной менделевской, молекулярной и биометрической ветвей генетики [48–53].

По данным наших исследований [54], проведенных в коллекции клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, созданной на территории Сернурского лесничества Республики Марий Эл в 1993 г., наиболее высокая наследуемость проявилась по параметру плотности древесины, а наименьшая — по ее влажности (табл. 5). Самую высокую плотность древесины имеет клон № 193, а минимальную — № 191 (рис. 6), материнские плюсовые деревья которых имели сходные таксационные параметры и произрастили в одной ценопопуляции в черничниковом типе леса Суслонгерского лесничества. Насле-

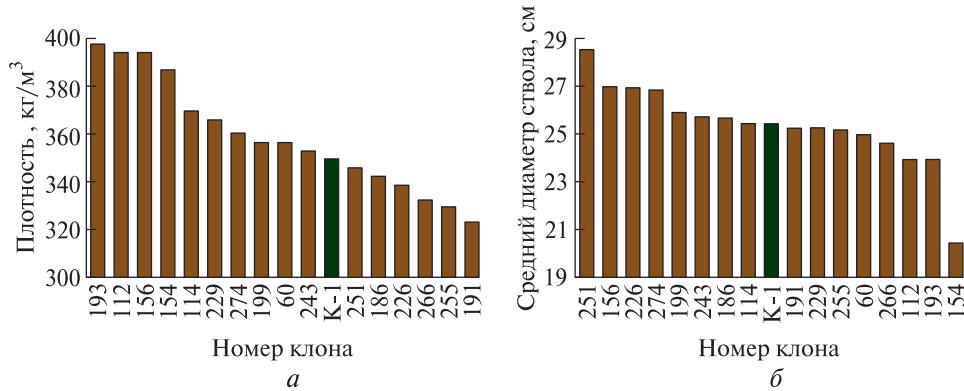


Рис. 6. Ранговое распределение клонов плюсовых деревьев на объекте исследования по среднему значению плотности древесины (а) и диаметра ствола (б): К-1 — непригвите саженцы, контроль

Fig. 6. Rank distribution of plus tree clones in the trial plot by average wood density (a) and trunk diameter (b): K-1 — ungrafted seedlings, control

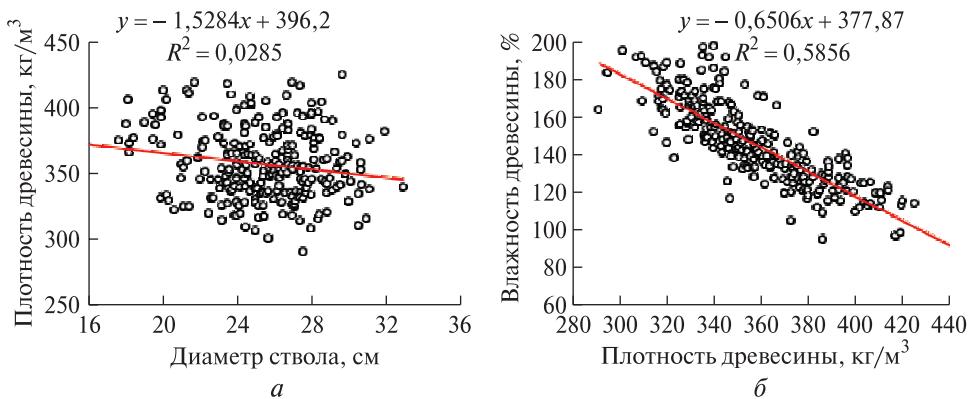


Рис. 7. Зависимость между параметрами деревьев на опытном объекте
Fig. 7. Relationships between tree parameters in the trial plot

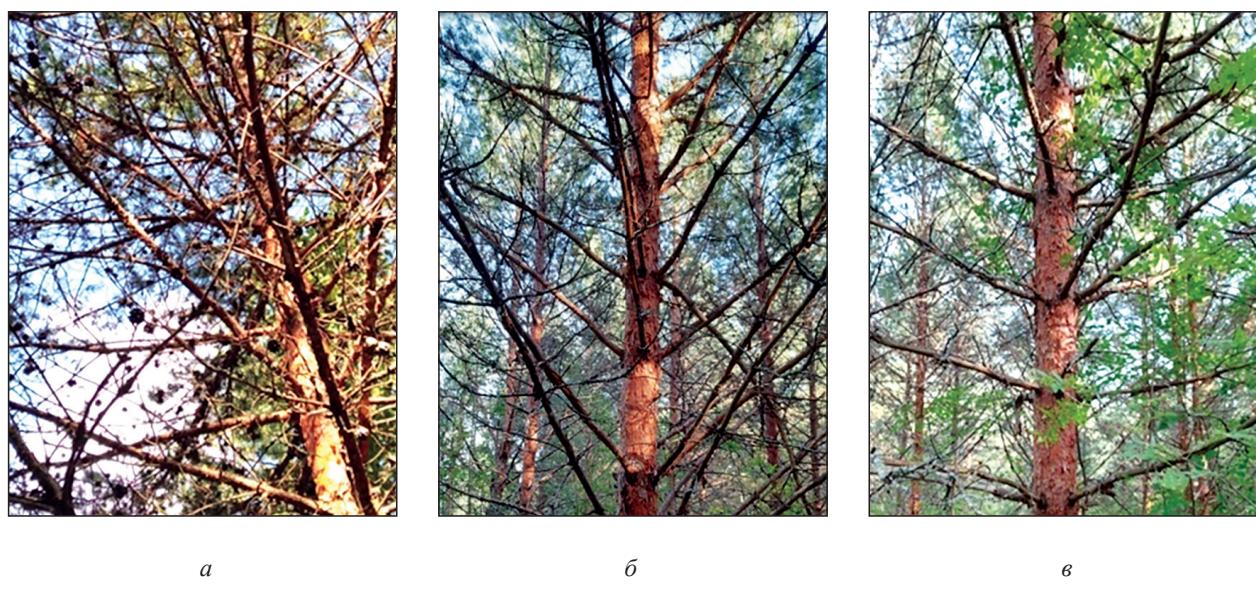


Рис. 8. Клоны деревьев с неопадающими шишками (а) и разным углом наклона ветвей (б, в)
Fig. 8. Clone trees with persistent cones (a) and different branch inclinations (b, v)

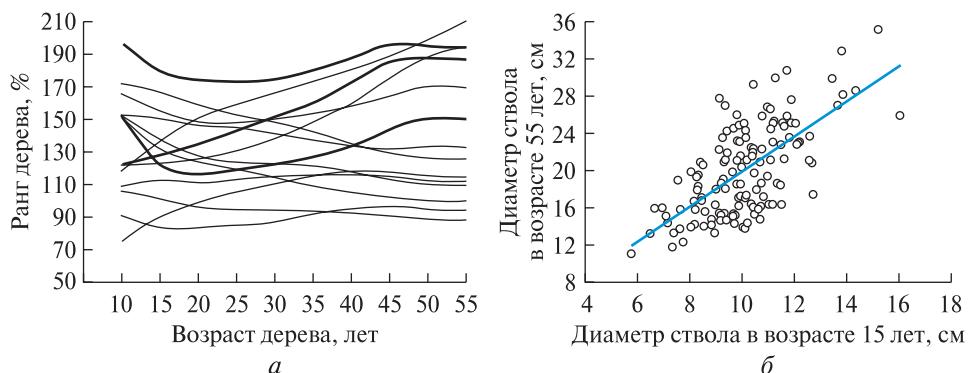


Рис. 9. Динамика рангового положения деревьев в ценозе (а) и характер связи между диаметром ствола деревьев в возрасте 15 и 55 лет (б)

Fig. 9. Dynamics of tree rank position in the cenosis (a) and the nature of the relationship between trunk diameter at 15 and 55 years of age (b)

Таблица 6

Матрица коэффициентов корреляции между диаметром ствола деревьев в разном возрасте
Matrix of correlation coefficients between tree trunk diameters at different ages

Возраст деревьев, лет	Значения коэффициентов корреляции между диаметром ствола деревьев в разном возрасте, лет						
	5	10	20	30	40	50	55
5	1,000						
10	0,902	1,000					
20	0,669	0,852	1,000				
30	0,570	0,736	0,951	1,000			
40	0,494	0,645	0,876	0,971	1,000		
50	0,378	0,536	0,780	0,901	0,970	1,000	
55	0,340	0,505	0,761	0,885	0,959	0,997	1,000

дуемость скорости роста деревьев, оцененной по диаметру ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли, оказалась невысокой, а основной вклад в ее варьирование был обусловлен особенностями взаимодействия генотипа со средой обитания и привоем. Самый высокий средний диаметр отмечен у клона № 251, а минимальный — у клона № 154. Черенки для привоя первого из них взяты у материнского дерева в свежем бору Нолькинского лесничества, а второго — в свежей субори Красномостовского лесничества. Размеры материнских деревьев были при этом практически сходными. Плотность древесины, как оказалось, не зависит от размера деревьев, но тесно связана с ее влажностью (рис. 7). Очень высока наследуемость признаков неопадения шишек и угла наклона ветвей относительно ствола дерева (рис. 8).

Ответ на вопрос о наследуемости скорости и темпов роста деревьев дают многолетние наблюдения, проведенные нами на серии посто-

янных пробных площадей [40], а также данные дендрохронологического анализа [55], показавшие, что ранговое положение каждой особи в ценопопуляции существенно изменяется во времени (рис. 9), приводя к постепенному ослаблению тесноты связи текущего диаметра с исходным (табл. 6). Особенно неустойчиво положение деревьев III класса Крафта, которые по численности доминируют в ценопопуляциях. Изменения рангового положения деревьев происходят в результате их индивидуальных особенностей в обмене веществ, конкурентоспособности и, самое главное, в ответных реакциях на колебания условий среды.

Значения радиального годичного прироста изменялись у деревьев на пробных площадях с 2003 по 2023 гг. в очень больших пределах и были слабо связаны с диаметром ствола на момент начала наблюдений (рис. 10). Этот факт, установленный многими исследователями [56–58] и подтвержденный позднее нами [59, 60],

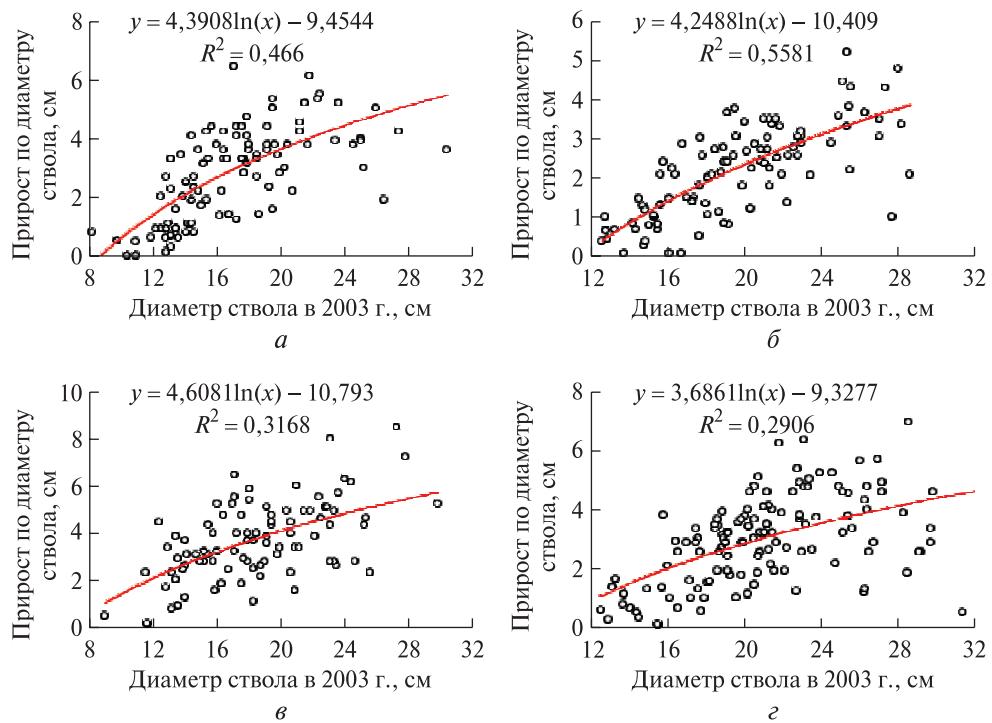


Рис. 10. Зависимость текущего прироста стволов деревьев на объектах исследования от их диаметра в начале наблюдений: *а* — ПП-9Л — 75-летний сосняк лишайниковый естественного происхождения; *б* — ПП-90-05-4 — 100-летние культуры сосны в брусничниковом типе леса; *в* — ПП-29Г — 75-летний сосняк брусничниковый; *г* — ПП-30А — 100-летний сосняк брусничниковый

Fig. 10. Dependence of the current growth of tree trunks at the trial plots on their diameter at the beginning of observations: *a* — PP-9L — 75-year-old lichen pine forest of natural origin; *b* — PP-90-05-4 — 100-year-old pine plantations in the lingonberry type of forest; *c* — PP-29G — 75-year-old lingonberry pine forest; *g* — PP-30A — 100-year-old lingonberry pine forest

свидетельствует об ограниченности выдвинутого Е.Л. Маслаковым [1] закона рангового роста деревьев и трудности отбора по этому признаку хозяйственно ценных экземпляров. Особенно высока вариабельность прироста, как видно из представленных данных, среди наиболее крупных особей, только небольшая часть которых обладает очень высоким жизненным потенциалом. Выявить безошибочно эти деревья в лесу на основе глазомерной оценки их внешнего облика (габитуса), однако не только сложно, но и практически невозможно. Проведенные нами исследования [59] показали также, что отбор ценных фенотипов деревьев по величине их годичного прироста в высоту после аномальных по погодным условиям лет также бесперспективен, поскольку их ответная реакция на это не обусловлена наследственно, а вызвана особенностями работы генома в сложившейся обстановке, которая обычно не повторяется.

Большая часть фенотипических признаков, как было установлено С.А. Мамаевым [35], не

связана между собой и варьирует у деревьев в ценопопуляциях независимо друг от друга. Взаимосвязаны между собой в основном лишь родственные признаки. Многие количественные признаки деревьев экологически лабильны и часто остаются скрытыми, поэтому всегда есть вероятность, что большие размеры особи являются следствием случайно сложившейся для нее экологической обстановки [18]. Это подтвердили и наши исследования [54, 59, 60], результаты которых изложены выше. В любой ценопопуляции практически всегда можно выявить разнообразие форм деревьев, поскольку полностью мономорфных видов в природе не существует. Большинство фенотипических признаков не связано с адаптационными свойствами особей относительно изменяющихся условий среды и стрессовых ситуаций, поэтому отбор хозяйственно-ценных форм деревьев по ним в большинстве случаев не может привести к положительным результатам и подобен, об разно выражаясь, отбору среди людей выдающихся спортсменов, летчиков, космонавтов или

же талантливых музыкантов по цвету их глаз и волос, а также форме ушей или носа.

Селекционную ценность имеют не столько так называемые плюсовые деревья, доля которых в ценопопуляциях может варьировать в очень больших пределах [61], а ценопопуляции в целом, являющиеся основными хранилищами наследственной информации. При этом совсем неважен размер деревьев, выступающих донорами для последующего размножения, поскольку он у их потомства в ценопопуляциях будет неуклонно стремиться, согласно теории стабилизирующего отбора [62, 63], к определенному среднему уровню. Об этом весьма убедительно свидетельствуют результаты многочисленных исследований семенного потомства ценопопуляций различного происхождения в географических культурах сосны обыкновенной, показавшие, что оно практически полностью наследует многие качества всего сообщества, выработанные в процессе его длительной эволюции в сложившихся сугубо специфических условиях среды. Наиболее высокую производительность имеют в итоге, как правило, либо местные экотипы, либо созданные из семян древостоев, произраставших в более благоприятных условиях. Наименее же производительны насаждения, выращенные из семян ценопопуляций, развивавшихся в экстремальных экологических условиях [64–81]. Так, к примеру, наиболее продуктивными в Польше к 1970-м годам оказались экотипы из зоны смешанных лесов, а наименее — из Сибири и Урала [82]. Продуктивность ценопопуляций в пункте испытания во многом зависит, как было установлено [83], от лесорастительных условий экспериментальных участков: у одноименных экотипов, произрастающих на суглинистой и песчаной почвах, отмечаются двукратные различия по запасу стволовой древесины. Дифференциация экотипов выражена при этом сильнее на участке с песчаной почвой, чем на суглинке.

Размеры деревьев при этом часто не связаны с производительностью древостоев, зависящей в основном от количества сохранившихся особей, которые обладают высокими адаптационными способностями к изменению внешней среды и представляют наибольшую селекционную ценность. В этом, собственно, и состоит суть группового отбора, при котором наследуются признаки, благоприятные для развития всего сообщества, а не отдельных индивидуумов [63, 84], поэтому селекция древесных растений на продуктивность не привела пока, как отмечают некоторые исследователи [11–13, 15, 74, 85], к положительным результатам. По

другим признакам, не связанным с естественным групповым отбором особей в процессе их эволюции (смолопродуктивности, качестве древесины, форме ствола и кроны), она может быть эффективной. На эти признаки преимущественно и ориентируются при селекции сельскохозяйственных и декоративных растений. Признаки выведенных пород крупного рогатого скота, собак, кошек и прочих домашних животных также никак не связаны с повышением их жизнестойкости.

Выводы

Одной из главных причин неудач в селекции сосны обыкновенной является неправильный алгоритм отбора исходного материала, поскольку наибольшую ценность имеют не отдельные уникальные особи, а популяции в целом, являющиеся хранилищами наследственной информации вида и основной ареной борьбы особей за свое существование. Только целенаправленный поиск хозяйственно ценных популяций, рас и кряжей выбранного вида может обеспечить успех всей работы по селекции древесных растений. При этом совсем не важен размер деревьев, выступающих донорами для последующего размножения, поскольку он у их потомства в ценопопуляциях будет неуклонно стремиться, согласно теории стабилизирующего отбора, к определенному среднему уровню. Потенциально самую высокую производительность будет иметь потомство, выращенное из семян материнских древостоев, произрастающих либо в сходных, либо в более благоприятных лесорастительных условиях.

Важно определиться с целевыми фенотипическими параметрами, основным среди которых является производительность древостоев, а не размеры отдельных деревьев в них, порой не связанных с ней и варьирующих в очень больших пределах. Многие количественные признаки деревьев экологически лабильны и часто остаются скрытыми, поэтому всегда есть вероятность, что большие размеры особей являются следствием случайно сложившихся для них экологических условий. В любой ценопопуляции практически всегда можно выявить разнообразие форм деревьев, поскольку полностью мономорфных видов в природе не существует. Большинство фенотипических признаков при этом не связано с адаптационными свойствами особей к резким изменениям условий среды, а являются экологически нейтральными.

При ведении селекционной работы следует иметь в виду, что она в итоге приведет к обеднению исходного генофонда и снижению устой-

чивости создаваемых насаждений к неблагоприятным факторам среды. Вся забота о лесах в результате этого неизбежно ляжет тяжелым и, возможно, экономически неоправданным грузом на плечи человека. Целесообразность проведения работ в области селекции древесных растений ставит под сомнение продолжительность получения окончательного результата, значительно превышающая продолжительность активной работы любого исследователя, и полная его неопределенность.

Благодарности

Авторы признательны заместителю директора по научной работе государственного заповедника «Большая Кокшага» канд. с.-х. наук А.В. Исаеву и студентке ПГТУ А.И. Прыгуновой за помощь в сборе материала.

Работа выполнена по гранту Российского научного фонда № 23-16-00220, <https://rscf.ru/project/23-16-00220/>

Список литературы

- [1] Шутов И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А., Полянский Е.В., Бельков В.П., Гладков Е.Г., Головчанский И.Н., Рябинин Б.Н., Морозов В.А., Шиманский П.С. Лесные плантации (ускоренное выращивание ели и сосны) / под ред. И.В. Шутова. М.: Лесная пром-сть, 1984. 248 с.
- [2] Плантационное лесоводство / под общ. ред. И.В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 366 с.
- [3] Романов Е.М., Еремин Н.В., Мухортов Д.И., Нуреева Т.В. Лесные культуры. Ускоренное лесовыращивание. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2007. 287 с.
- [4] Романов Е.М., Еремин Н.В., Нуреева Т.В. Состояние и проблемы воспроизводства лесов России // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2007. № 1. С. 5–14.
- [5] Демаков Ю.П., Романов Е.М., Краснов В.Г., Нуреева Т.В. Опыт искусственного восстановления лесов в Среднем Поволжье и дальнейшая стратегия действий по его совершенствованию // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2021. № 1 (49). С. 23–46.
- [6] Демаков Ю.П. Результаты многолетних опытов по созданию и выращиванию культур сосны обыкновенной в Республике Марий Эл. Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2022. 242 с.
- [7] Семериков Л.Ф., Исаков Ю.Н., Тараканов В.В., Семериков В.Л., Глотов Н.В. О генетико-селекционном аспекте сохранения и улучшения лесов России (начало) // Лесохозяйственная информация, 1998. № 9. С. 3–12.
- [8] Тараканов В.В., Демиденко В.П., Ишутин Я.Н., Бушков Н.Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 230 с.
- [9] Бедрицкая Т.В. Особенности лесного семеноводства на Крайнем Севере // Современные проблемы притундровых лесов: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Архангельск, 4–9 сентября 2012 г. Архангельск: Изд-во САФУ, 2012. С. 210–214.
- [10] Царев А.П., Лаур Н.В. Перспективные направления селекции и репродукции лесных древесных растений // ИзВУЗ. Лесной журнал, 2013. № 2 (332). С. 36–44.
- [11] Рогозин М.В. Селекция сосны обыкновенной для плантационного выращивания: монография. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2013. 200 с.
- [12] Рогозин М.В. Уроки истории лесной селекции // Лесное хозяйство, 2013. № 6. С. 20–23.
- [13] Рогозин М.В. Программа селекции хвойных в лесосеменном районе // Сибирский лесной журнал, 2016. № 5. С. 99–106. DOI: 10.15372/SJFS20160510
- [14] Максимов В.М. Изменчивость сосны обыкновенной по биосинтезу монотерпенов в условиях Центральной лесостепи. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2001. 150 с.
- [15] Видякин А.И. Плюсовая селекция сосны и ели: итоги и перспективы развития // Лесохозяйственная информация, 2008. № 3–4. С. 33–35.
- [16] Федорков А.Л. Фенотипический отбор в лесной селекции // Лесоведение, 2019. № 6. С. 580–584. DOI: 10.1134/S0024114819060032
- [17] Тараканов В.В., Паленова М.М., Паркина О.В., Роговцев Р.В., Третьякова Р.А. Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор) // Лесохозяйственная информация, 2021. № 1. С. 100–143. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.09
- [18] Раевский Б.В., Игнатенко Р.В., Новичонок Е.В., Прокопюк В.М., Куклина К.К. Современное состояние селекции и семеноводства хвойных пород // ИзВУЗ. Лесной журнал, 2022. № 6. С. 9–37.
- [19] Раевский Б.В., Ильинов А.А., Медведева М.В., Тимофеева В.В. Лесоводственные особенности и генетическое разнообразие плюсовых насаждений сосны обыкновенной // Актуальные вопросы таежного и притундрового лесоводства на Европейском Севере России: матер. науч.-практ. конф. Архангельск, 23–24 ноября 2023 г. Архангельск: Изд-во САФУ, 2023. С. 184–189.
- [20] Царев А.П., Лаур Н.В., Царев В.А., Царева Р.П. Современное состояние лесной селекции в Российской Федерации: тренд последних десятилетий // ИзВУЗ. Лесной журнал, 2021. № 6. С. 38–55.
- [21] Царев А.П., Лаур Н.В. Эволюция требований к селекционной оценке насаждений // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Киров, 27–31 мая 2019 г. Киров: Изд-во ВГУ, 2019. С. 178–182.
- [22] Наставления по лесосеменному делу. М.: Изд-во ГУ лесного хозяйства и охраны леса при Совмине РСФСР, 1963. 63 с.
- [23] Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: Изд-во ВНИИЛесресурс, 2000. 198 с.
- [24] Коновалов В.Ф., Насырова Э.Р. Плюсовой фонд сосновы обыкновенной в Республике Башкортостан // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2014. № 3. С. 95–99.
- [25] Рунова Е.М., Чжан С.А., Пузанова О.А. Лесоводственно-таксационная и селекционная оценка плюсовых насаждений сосновы обыкновенной Иркутской области // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2015. № 41. С. 81–84.

- [26] Ильинов А.А., Раевский Б.В. Генетическое разнообразие деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) различных селекционных категорий в плюсовых насаждениях Карелии // Экологическая генетика, 2021. Т. 19. № 1. С. 23–36.
- [27] Крекова Я.А., Чеботко Н.К. Анализ показателей роста клонов сосны обыкновенной в архивах Северного Казахстана // Наука и образование, 2022. № 3–2. С. 193–203.
- [28] Царев А.П., Лаур Н.В. Лесные плюсовые насаждения и критерии их отбора // Бюллетень ГНБС, 2019. Вып. 132. С. 79–86.
DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.10
- [29] Крекова Я.А., Чеботко Н.К. Результаты испытания семенного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Северном Казахстане // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 17–26.
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-17-26
- [30] Чжан С.А., Пузанова О.А., Данишек М.В. Особенности роста и развития плюсовых и эталонных древостоев в условиях Приангарья // Системы. Методы. Технологии, 2013. № 1(17). С. 160–163.
- [31] Лаур Н.В., Царев А.П. Отбор плюсовых деревьев и насаждений. Петр заводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. 36 с.
- [32] Кострикин В.А., Ширнин В.К., Крюкова С.А. Критерии оценки плюсовых насаждений дуба // ИзВУЗ. Лесной журнал, 2021. № 4. С. 68–79.
- [33] Сухоруких Ю.И., Биганова С.Г. Критерии выделения плюсовых насаждений в полезащитных лесных полосах на Северо-Западном Кавказе // Лесотехнический журнал, 2023. Т. 13. № 3 (51). С. 102–116.
- [34] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 192 с.
- [35] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости растений. М.: Наука, 1972. 283 с.
- [36] Бобров Е.Г. Лесообразующие хвойные СССР. Л.: Наука, 1978. 188 с.
- [37] Побединский А.В. Сосна. М.: Лесная пром-сть, 1979. 125 с.
- [38] Саников С.Н., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. 248 с.
- [39] Зацепина К.Г., Тараканов В.В., Кальченко Л.И., Экарт А.К., Ларионова А.Я. Дифференциация популяций сосны обыкновенной в ленточных борах Алтайского края, выявленная с применением маркеров различной природы // Сибирский лесной журнал, 2016. № 5. С. 21–32.
DOI: 10.15372/SJFS20160502
- [40] Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2018. 432 с.
- [41] Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.
- [42] Афиши А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. 488 с.
- [43] Демиденко Е.З. Оптимизация и регрессия. М.: Наука, 1989. 292 с.
- [44] Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
- [45] Гринин А.С., Орехов Н.А., Новиков В.Н. Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.
- [46] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфология и физиология хвои плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной аграрной академии, 2014. 368 с.
- [47] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной аграрной академии, 2015. 586 с.
- [48] Драгавцев В.А., Литун П.П., Шкель Н.М., Нечипоренко Н.Н. Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений // Доклады АН СССР, 1984. Т. 274, № 3. С. 720–723.
- [49] Драгавцев В.А., Цильке Р.А., Рейтер Б.Г., Воробьев В.А., Дубровская А.Г., Коробейников Н.И., Новохатин В.В., Максименко В.П., Бабакищев А.Г., Илющенко В.Г., Калашник Н.А., Зуйков Ю.П., Федотов А.М. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. 230 с.
- [50] Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. СПб.: Дон Боско, 2008. 86 с.
- [51] Чесноков Ю.В., Почепня Н.В., Бернер А., Ловассер У., Гончарова Э.А., Драгавцев В.А. Эколого-генетическая организация количественных признаков растений и картирование локусов, определяющих агрономически важные признаки у мягкой пшеницы // Доклады РАН, 2008. Т. 418, № 5. С. 693–696.
- [52] Драгавцев В.А. Уроки эволюции генетики растений // Биосфера, 2012. Т. 4, № 3. С. 251–262.
- [53] Драгавцев В.А. Экспрессная оценка адаптивности приростов отдельных моноподиальных хвойных деревьев в естественных популяциях // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Материалы VII Междунар. науч. конф. Йошкар-Ола, 18–22 марта 2019 г. Йошкар-Ола: Изд-во Марийского государственного университета, 2019. С. 5–8.
- [54] Демаков Ю.П., Шейкина О.В., Шарапов Е.С., Королев А.С., Таланцев В.И. Наследуемость признаков материнских деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) их клонированным потомством // Труды СПБНИИЛХ, 2025. № 1. С. 4–21.
DOI: 10.21178/2079-6080.2025.1.4
- [55] Демаков Ю.П. Влияние факторов среды на рост деревьев в сосняках Республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2023. 480 с.
- [56] Комин Г.Е. Изменение рангов деревьев по диаметру в древостое // Труды Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР. Вып. 67. Екатеринбург: Изд-во УФ АН СССР, 1970. С. 252–262.
- [57] Поляшкин Ю.В. Изменчивость радиального прироста древостоев как источник информации для прогнозирования динамики экосистем // Проблемы прогностических исследований природных явлений. Новосибирск: Наука, 1979. С. 154–167.
- [58] Карпавичюс И.А. Связь изменчивости радиального прироста сосны обыкновенной с морфологическими признаками // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука, 1986. С. 86–90.
- [59] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В. Групповая и индивидуальная изменчивость годичного прироста деревьев по высоте в культурах сосны Марийского Заволжья //

- Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2019. № 3 (43). С. 25–45.
DOI: 10.25686/2306-2827.2019.3.25
- [60] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение, 2019. № 4. С. 274–285.
DOI: 10.1134/S0024114819030021
- [61] Чернышов М.П., Михайлова М.И. Селекционная оценка приспевающих древостоев сосны обыкновенной в географических культурах Воронежской области // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2022. Т. 25. С. 120–123.
- [62] Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции. Теория стабилизирующего отбора. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 396 с.
- [63] Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение (Дарвинизм). М.: Высшая школа, 1989. 335 с.
- [64] Войчаль П.И. Географические культуры сосны в Архангельской области // Лесное хозяйство, 1961. № 11. С. 32–42.
- [65] Тимофеев В.П. Особенности роста сосны разного происхождения в лесной опытной Тимирязевской академии // Известия ТСХА, 1973. Вып. 2. С. 130–146.
- [66] Ирошинов А.И. Географические культуры хвойных в Южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. С. 4–110.
- [67] Пихельгас Э.И. Географические опытные культуры сосны обыкновенной в Эстонской ССР // Географические опыты в лесной селекции Прибалтики. Рига: Зинатне, 1982. С. 73–81.
- [68] Нарышкин М.А., Вакуров А.Д., Петерсон Ю.В. Географические культуры сосны обыкновенной под Москвой // Лесоведение, 1983. № 2. С. 50–57.
- [69] Олексин Я.Б., Чертых М., Редько Г.И. Новый взгляд на географические культуры сосны обыкновенной В.Д. Огневского // ИЗВУЗ. Лесной журнал, 1986. № 6. С. 20–24.
- [70] Шутяев А.М., Вересин М.М. Продуктивность географических популяций сосны обыкновенной // Лесное хозяйство, 1990. № 11. С. 36–38.
- [71] Писаренко А.И., Редько Г.И., Мерзленко М.Д. Искусственные леса. В 2-х ч. М.: Изд-во ВНИИЦлесресурс, 1992. Ч. 2. 240 с.
- [72] Кузьмина Н.А. Особенности роста географических культур сосны обыкновенной в Приангарье // Лесоведение, 1999. № 4. С. 23–29.
- [73] Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В. Семенные плантации северных экотипов сосны обыкновенной. Архангельск: Изд-во Поморского госуниверситета, 1999. 143 с.
- [74] Царев А.П., Погиба С.П., Тренин В.В. Селекция и репродукция лесных древесных пород. М.: Логос, 2002. 497 с.
- [75] Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р., Милютин Л.И. Дифференциации сосны обыкновенной по росту и выживаемости в географических культурах Приангарья // Хвойные бореальные зоны, 2004. Вып. 2. С. 48–56.
- [76] Соломников А.А., Ширяев В.А. Исследование роста географических культур сосны в Брянской области // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2005. № 12. С. 55–58.
- [77] Гайфуллина А.Р., Духтанова Н.В. Рост и состояние географических культур сосны в Завьяловском лесничестве Удмуртской Республики // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, 2008. № 3. С. 59–60.
- [78] Тищечкин А.Н. Рост, развитие и продуктивность притундрового и северо-таежного экотипов сосны обыкновенной в географических культурах на Урале // Современные проблемы притундровых лесов. Архангельск: Изд-во САФУ, 2012. С. 189–192.
- [79] Ребко С.В., Поплавская Л.Ф. Рост климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: Материалы Междунар. науч.-практ. форума. Хабаровск, 25–26 октября 2012 г. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2013. С. 159–162.
- [80] Наумов В.Д., Поветкина Н.Л., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Географические культуры сосны в Лесной опытной даче Тимирязевской академии (к 180-летию М.К. Турского): монография. М.: Изд-во МЭСХ, 2019. 182 с.
- [81] Михайлова М.И. Рост и продуктивность лесостепных и степных экотипов сосны обыкновенной в географических культурах // Актуальные направления научных исследований XXI века: наука и практика, 2019. Т. 7, № 3. С. 166–171.
- [82] Oleksyn J., Giertych M. Results of a 70 years old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance experiment in Pulawy, Poland // Silvae Genetica, 1984, v. 33, no. 1, pp. 22–27.
- [83] Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах разных лесорастительных условий // Лесоведение, 2020. № 5. С. 451–465.
DOI: 10.31857/S0024114820050083
- [84] Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
- [85] Видякин А.И. Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореальной зоны, 2010. Т. 27. № 1–2. С. 18–24.

Сведения об авторах

Демаков Юрий Петрович — д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. Департамента научной и международной деятельности, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», DemakovYP@volgatech.net

Шейкина Ольга Викторовна — д-р биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», ShejkinaOV@volgatech.net

Шарапов Евгений Сергеевич — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», SharapovES@volgatech.net

Королев Александр Сергеевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Департамента научной и международной деятельности, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», KorolevAS@volgatech.net

Поступила в редакцию 22.08.2024.

Одобрено после рецензирования 13.05.2025.

Принята к публикации 23.09.2025.

SELECTION PATTERN FOR PLUS STANDS AND SCOTS PINE TREES IN LARGE WOODED AREAS

Yu.P. Demakov[✉], O.V. Sheikina, E.S. Sharapov, A.S. Korolev

Volga State University of Technology, 3, Lenin Sq., 424000, Yoshkar-Ola, Russia

DemakovYP@volgatech.net

The distribution of Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) in the Mari El Republic is presented according to growth classes. Age-related changes in the proportions between trunk and crown parameters of common and «plus» trees are examined. The heritability of phenotypic traits was assessed using a 30-year clone collection. The findings indicate that both the inventory of stands and the overall approach to tree selection require revision. Greater selection value is associated with coenopopulations exhibiting unique properties, rather than with individual «plus» trees, which dimensions particularly a diameter are not directly linked to stand productivity. To adequately evaluate the selection potential of a coenopopulation, its taxation parameters should be compared against a standard, namely regional modal forest stands, with the dynamics of their characteristics described by appropriate mathematical models.

Keywords: Scots pine, selection, cenopopulation, plus trees, assessment, comparison standards

Suggested citation: Demakov Yu.P., Sheykina O.V., Sharapov E.S., Korolev A.S. *Algoritm otbora plyusovykh nasazhdeniy i derev'ev sosny obyknovennoy v bol'shikh lesnykh massivakh* [Selection pattern for plus stands and Scots pine trees in large wooded areas]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2025, vol. 29, no. 6, pp. 21–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-6-21-39

References

- [1] Shutov I.V., Maslakov E.L., Markova I.A., Polyanskiy E.V., Bel'kov V.P., Gladkov E.G., Golovchanskiy I.N., Ryabinin B.N., Morozov V.A., Shimanskiy P.S. *Lesnye plantatsii (uskorennoe vyrashchivanie eli i sosny)* [Forest plantations (accelerated cultivation of spruce and pine)]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984, 248 p.
- [2] *Plantatsionnoe lesovedstvo* [Plantation forestry]. Ed. I.V. Shutov. Saint Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007, 366 p.
- [3] Romanov E.M., Eremin N.V., Mukhortov D.I., Nureeva T.V. *Lesnye kul'tury. Uuskorennoe lesovyrashchivanie* [Forest crops. Accelerated forest cultivation]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2007, 287 p.
- [4] Romanov E.M., Eremin N.V., Nureeva T.V. *Sostoyanie i problemy vosproizvodstva lesov Rossii* [The state and problems of forest reproduction in Russia] Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2007, no. 1, pp. 5–14.
- [5] Demakov Yu.P., Romanov E.M., Krasnov V.G., Nureeva T.V. *Opyt iskusstvennogo vosstanovleniya lesov v Sredнем Povolzh'e i dal'neyshaya strategiya deystviy po ego sovershenstvovaniyu* [An experience of artificially forest regeneration in the Middle Volga Region and further action strategy for its enhancing]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. Forest. Ecology. Nature Management], 2021, no. 1 (49), pp. 23–46.
- [6] Demakov Yu.P. *Rezul'taty mnogoletnikh opytov po sozdaniyu i vyrashchivaniyu kul'tur sosny obyknovennoy v Respublike Mariy El* [Results of long-term experiments on the creation and cultivation of Scots pine crops in the Republic of Mari El]. Yoshkar-Ola: PGTU, 2022, 242 p.

- [7] Semerikov L.F., Isakov Yu.N., Tarakanov V.V., Semerikov V.L., Glotov N.V. *O genetiko-seleksionnom aspekte sokhraneniya i uluchsheniya lesov Rossii (nachalo)* [On the genetic and selection aspect of preserving and improving forests in Russia (beginning)]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 1998, no. 9, pp. 3–12.
- [8] Tarakanov V.V., Demidenko V.P., Ishutin Ya.N., Bushkov N.T. *Seleksionnoe semenovodstvo sosny obyknovennoy v Sibiri* [Selective seed production of Scots pine in Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2001, 230 p.
- [9] Bedritskaya T.V. *Osobennosti lesnogo semenovodstva na Kraynem Severe* [Features of forest seed production in the Far North] Sovremennye problemy pritundrovyykh lesov: mater. Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem [Modern problems of tundra forests: materials of Vseros. (with international participation) conf.]. Arkhangelsk, September 4–9, 2012. Arkhangelsk: SAFU, 2012, pp. 210–214.
- [10] Tsarev A.P., Laur N.V. *Perspektivnye napravleniya selektsii i reproduktsii lesnykh drevesnykh rasteniy* [Promising trends of breeding and reproduction of woody plants]. Russian Forestry J., 2013, no. 2 (332), pp. 36–44.
- [11] Rogozin M.V. *Selektsiya sosny obyknovennoy dlya plantatsionnogo vyrashchivaniya* [Selection of Scots pine for plantation cultivation]. Perm': Perm. gos. nats. issled. un-t, 2013, 200 p.
- [12] Rogozin M.V. *Uroki istorii lesnoy selektsii* [Lessons from the history of forest selection]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 2013, no. 6, pp. 20–23.
- [13] Rogozin M.V. *Programma selektsii khvoynykh v lesosemennom rayone* [Breeding program for conifers in forest seed area]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian J. of Forest Science], 2016, no. 5, pp. 99–106. DOI: 10.15372/SJFS20160510
- [14] Maksimov V.M. *Izmenchivost' sosny obyknovennoy po biosintezu monoterpenov v usloviyakh Tsentral'noy lesostepi* [Variability of Scots pine in biosynthesis of monoterpenes in the conditions of the Central forest-steppe]. Voronezh: VGLTA, 2001, 150 p.
- [15] Vidyakin A.I. *Plyusovaya selektsiya sosny i eli: itogi i perspektivy razvitiya* [Plus selection of pine and spruce: results and development prospects]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 2008, no. 3–4, pp. 33–35.
- [16] Fedorkov A.L. *Fenotipicheskiy otbor v lesnoy selektsii* [Phenotypic selection in forest breeding]. Lesovedenie [Russian J. of Forest Science], 2019, no. 6, pp. 580–584. DOI: 10.1134/S0024114819060032
- [17] Tarakanov V.V., Palenova M.M., Parkina O.V., Rogovtsev R.V., Tret'yakova R.A. *Lesnaya selektsiya v Rossii: dostizheniya, problemy, prioritety (obzor)* [Forest tree breeding in russia: achievements, challenges, priorities (ovevien)]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 2021, no. 1, pp. 100–143. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.09
- [18] Raevskiy B.V., Ignatenko R.V., Novichonok E.V., Prokopyuk V.M., Kuklina K.K. *Sovremennoe sostoyanie selektsii i semenovodstva khvoynykh porod* [The current state of conifer species breeding and seed production]. Russian Forestry J., 2022, no. 6, pp. 9–37.
- [19] Raevskiy B.V., Il'inov A.A., Medvedeva M.V., Timofeeva V.V. *Lesovodstvennye osobennosti i geneticheskoe raznobrazie plyusovykh nasazhdeniy sosny obyknovennoy* [Silvicultural features and genetic diversity of plus stands of Scots pine]. Aktual'nye voprosy taiezhnogo i pritundrovogo lesovodstva na Evropeyskom Severe Rossii: Materialy nauch.-prakt. konf [Current issues of taiga and tundra forestry in the European North of Russia: materials of nauch. pract. conf.]. Arkhangelsk, November 23–24, 2023. Arkhangelsk: SAFU, 2023, pp. 184–189.
- [20] Tsarev A.P., Laur N.V., Tsarev V.A., Tsareva R.P. *Sovremennoe sostoyanie lesnoy selektsii v Rossiyskoy Federatsii: trend poslednikh desyatiliy* [The current state of forest breeding in the Russian Federation: the trend of recent decades]. Russian Forestry J., 2021, no. 6, pp. 38–55.
- [21] Tsarev A.P., Laur N.V. *Evolyutsiya trebovaniy k seleksionnoy otsenke nasazhdeniy* [Evolution of requirements for selection evaluation of plantings] Sokhranenie lesnykh ekosistem: problemy i puti ikh resheniya: Materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf [Conservation of forest ecosystems: problems and solutions: materials of Int. scientific. pract. conf.]. Kirov, May 27–31, 2019. Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyi universitet, 2019, pp. 178–182.
- [22] *Nastavleniya po lesosemennomu delu* [Instructions on forest seed production]. Moscow: GU lesnogo khozyaystva i okhrany lesa pri Sovmine RSFSR, 1963, 63 p.
- [23] *Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiyskoy Federatsii* [Instructions on forest seed production in the Russian Federation]. Moscow: VNIITslesresurs, 2000, 198 p.
- [24] Konovalov V.F., Nasirova E.R. *Plyusovoy fond sosny obyknovennoy v Respublike Bashkortostan* [The plus fund of Scots pine in the Republic of Bashkortostan]. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Vestnik of the Bashkir State Agrarian University], 2014, no. 3, pp. 95–99.
- [25] Runova E.M., Chzhan S.A., Puzanova O.A. *Lesovodstvenno-taksatsionnaya i seleksionnaya otsenka plyusovykh nasazhdeniy sosny obyknovennoy Irkutskoy oblasti* [Silvicultural-taxation and selection assessment of Scots pine plus stands in the Irkutsk region]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Current problems of the forest complex], 2015, no. 41, pp. 81–84.
- [26] Il'inov A.A., Raevskiy B.V. *Geneticheskoe raznobrazie derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) razlichnykh seleksionnykh kategoriy v plyusovykh nasazhdeniyakh Karelii* [Genetic diversity of scots pine trees of different selection categories in plus stands OF Karelia]. Ekologicheskaya genetika [Ecological genetics], 2021, v. 19, no. 1, pp. 23–36.
- [27] Krekova Ya.A., Chebot'ko N.K. *Analiz pokazateley rosta klonov sosny obyknovennoy v arkhivakh Severnogo Kazakhstana* [Analysis of growth rates of Scots pine clones in the archives of Northern Kazakhstan]. Nauka i obrazovanie [Science and Education], 2022, no. 3–2, pp. 193–203.
- [28] Tsarev A.P., Laur N.V. *Lesnye plyusovye nasazhdeniya i kriterii ikh otbora* [Forest plus stands and criteria for their selection]. Byulleten' GNBS [Bull. Of the Stat. Nikita Bota. Card.], 2019, no. 132. pp. 79–86. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.10
- [29] Krekova Ya.A., Chebotko N.K. *Rezul'taty ispytaniya semenogo potomstva plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v Severnom Kazakhstane* [Test results of half-sibs plus Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in Northern Kazakhstan]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-17-26

- [30] Chzhan S.A., Puzanova O.A., Danishek M.V. *Osobennosti rosta i razvitiya plusovykh i etalonnykh drevostoev v usloviyakh Priangara* [Peculiarities of growth and development of plus and standard stands in the conditions of the Angara region]. Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2013, no. 1(17), pp. 160–163.
- [31] Laur N.V., Tsarev A.P. *Otbor plusovykh drev'sev i nasazhdeniy* [Selection of plus trees and stands]. Petrozavodsk: PetrGU, 2005, 36 p.
- [32] Kostrikin V.A., Shirnin V.K., Kryukova S.A. *Kriterii otsenki plusovykh nasazhdeniy duba* [Criteria for assessment of plus oak stands]. Russian Forestry J., 2021, no. 4, pp. 68–79.
- [33] Sukhorukikh Yu.I., Biganova S.G. *Kriterii vydeleniya plusovykh nasazhdeniy v polezashchitnykh les-nykh polosakh na Severo-Zapadnom Kavkaze* [Selection criteria for plus stands in field-protective forest belts in the North-Western Caucasus]. Lesotekhnicheskiy zhurnal [Forestry Engineering journal], 2023, v. 13, no. 3 (51), pp. 102–116.
- [34] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow: Nauka, 1964, 192 p.
- [35] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti rasteniy* [Forms of intraspecific variability of plants]. Moscow: Nauka, 1972, 283 p.
- [36] Bobrov E.G. *Lesoobrazuyushchie khvoynye SSSR* [Forest-forming conifers of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1978. 188 p.
- [37] Pobedinskiy A.V. *Sosna* [Pine] Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1979, 125 p.
- [38] Sannikov S.N., Petrova I.V. *Differentsiatsiya populyatsiy sosny obyknovennoy* [Differentiation of Scots pine populations]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2003, 248 p.
- [39] Zatsepina K.G., Tarakanov V.V., Kal'chenko L.I., Ekart A.K., Larionova A.Ya. *Differentsiatsiya populyatsiy sosny obyknovennoy v lentochnykh borakh Altayskogo kraya, vyavленной с применением маркеров различной природы* [Differentiation of scots pine populations in the belt pine forests of Altai Krai discovered with markers of various nature]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Journal of Forest Science], 2016, no. 5, pp. 21–32. DOI: 10.15372/SJFS20160502
- [40] Demakov Yu.P. *Struktura i zakonomernosti razvitiya lesov Respubliki Mariy El* [Structure and patterns of forest development in the Mari El Republic]. Yoshkar-Ola: PGTU, 2018, 432 p.
- [41] Dreyper N., Smit G. *Prikladnoy regressionnyy analiz* [Applied regression analysis]. Moscow: Statistika, 1973, 392 p.
- [42] Afifi A., Eyzan S. *Statisticheskiy analiz. Podkhod s ispol'zovaniem EVM* [Statistical analysis. A computer-based approach]. Moscow: Mir, 1982, 488 p.
- [43] Demidenko E.Z. *Optimizatsiya i regressiya* [Optimization and regression]. Moscow: Nauka, 1989, 292 p.
- [44] Lakin G.F. *Biometriya*. Moscow: Vysshaya shkola, 1990, 352 p.
- [45] Grinin A.S., Orehov N.A., Novikov V.N. *Matematicheskoe modelirovaniye v ekologii* [Mathematical modeling in ecology]. Moscow: YuNITI-DANA, 2003, 269 p.
- [46] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Morfologiya i fizio-logiya khvoi plusovykh drev'ev* [Scots pine (Pinus sylvestris L.). Morphology and physiology of plus tree needles]. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya agrarnaya akademiya, 2014, 368 p.
- [47] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproduktivnyy potentsial plusovykh drev'ev* [Reproductive potential of plus trees]. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya agrarnaya akademiya, 2015, 586 p.
- [48] Dragavtsev V.A., Litun P.P., Shkel' N.M., Nechiporenko N.N. *Model' ekologo-geneticheskogo kontrolya kolichestvennykh priznakov rasteniy* [Model of ecological-genetic control of quantitative traits of plants]. Doklady AN SSSR [Doklady of the USSR Academy of Sciences], 1984, v. 274, no. 3, pp. 720–723.
- [49] Dragavtsev V.A., Tsil'ke R.A., Reyer B.G., Vorob'ev V.A., Dubrovskaya A.G., Korobeynikov N.I., Novokhatin V.V., Maksimenko V.P., Babakishev A.G., Ilyushchenko V.G., Kalashnik N.A., Zuykov Yu.P., Fedotov A.M. *Genetika priznakov produktivnosti yarovykh pshenits v Zapadnoy Sibiri* [Genetics of productivity traits of spring wheat in Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 1984, 230 p.
- [50] Kocherina N.V., Dragavtsev V.A. *Vvedenie v teoriyu ekologo-geneticheskoy organizatsii poligenniykh priznakov rasteniy i teoriyu selektsionnykh indeksov* [Introduction to the theory of ecological-genetic organization of polygenic traits of plants and the theory of selection indices]. Saint Petersburg: Don Bosko, 2008, 86 p.
- [51] Chesnokov Yu.V., Pochebnya N.V., Berner A., Lovasser U., Goncharova E.A., Dragavtsev V.A. *Ekologo-geneticheskaya organizatsiya kolichestvennykh priznakov rasteniy i kartirovaniye lokusov, opredelyayushchikh agronomicheski vazhnye priznaki u myagkoy pshenitsy* [Ecological-genetic organization of plant quantitative traits and mapping of the loci determining agronomically important traits in soft wheat]. Doklady RAN [Doklady of the Academy of Sciences], 2008, v. 418, no. 5, pp. 693–696.
- [52] Dragavtsev V.A. *Uroki evolyutsii genetiki rasteniy* [Lessons of evolution of plant genetics]. Biosfera [Biosphere], 2012, v. 4, no. 3, pp. 251–262.
- [53] Dragavtsev V.A. *Ekspressnaya otsenka adaptivnosti prirostov otdel'nykh monopodial'nykh khvoy-nykh drev'ev v estestvennykh populyatsiyakh* [Rapid assessment of the adaptability of growth of individual monopodial coniferous trees in natural populations]. Printsiy i sposoby sokhraneniya bioraznoobraziya: Materialy VII Mezhdunar. nauch. konf. [Principles and methods of biodiversity conservation: materials of VII Int. scientific. conf.], Yoshkar-Ola, March 18–22, 2019. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvenny universitet, 2019, pp. 5–8.
- [54] Demakov Yu.P., Sheykina O.V., Sharapov E.S., Korolev A.S., Talantsev V.I. *Nasleduemost' priznakov materinskikh drev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) ikh klonirovannym potomstvom* // Trudy SPBNILX, 2025, no. 1, pp. 4–21. DOI: 10.21178/2079-6080.2025.1.4
- [55] Demakov Yu.P. *Vliyanie faktorov sredy na rost drev'ev v sosnyakakh Respubliki Mariy El* [The influence of environmental factors on tree growth in pine forests of the Mari El Republic]. Yoshkar-Ola: PGTU, 2023, 480 p.
- [56] Komin G.E. *Izmenenie rangov drev'ev po diametru v drevostoe* [Change in tree ranks by diameter in a forest stand]. Trudy instituta ekologii rasteniy i zhivotnykh Ural'skogo filiala AN SSSR [Proceedings of the Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the USSR Academy of Sciences]. Ekaterinburg: UF AN SSSR, 1970, no. 67, pp. 252–262.

- [57] Polyushkin Yu.V. *Izmenchivost' radial'nogo prirosta drevostoev kak istochnik informatsii dlya prognozirovaniya dinamiki ekosistem* [Variability of radial growth of forest stands as a source of information for forecasting the dynamics of ecosystems]. Problemy prognosticheskikh issledovaniy prirodnykh yavleniy [Problems of prognostic studies of natural phenomena]. Novosibirsk: Nauka, 1979, pp. 154–167.
- [58] Karpavichus I.A. *Svyaz' izmenchivosti radial'nogo prirosta sosny obyknovennoy s morfologiche-skimi priznakami* [Relationship between variability of radial growth of Scots pine and morphological features]. Dendrokhronologiya i dendroklimatologiya [Dendrochronology and dendroclimatology]. Novosibirsk: Nauka, 1986, pp. 86–90.
- [59] Demakov Yu.P., Nureeva T.V. *Grupovaya i individual'naya izmenchivost' godichnogo prirosta derev'ev po vysote v kul'turakh sosny Mariyskogo Zavolzh'ya* [Group and individual variability of annual growth of trees in height in pine plantations of Mari Trans-Volga region]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. Forest. Ecology. Nature Management], 2019, no. 3 (43), pp. 25–45. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.3.25
- [60] Demakov Yu.P., Nureeva T.V. *Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya derev'ev po ikh razmeram v tsenopopulyatsiyakh sosny obyknovennoy* [Features of evolution of a tree size rank in coenopopulations of scots pine]. Lesovedenie [Russian J. of Forest Science], 2019, no. 4, pp. 274–285. DOI: 10.1134/S0024114819030021
- [61] Chernyshov M.P., Mikhaylova M.I. *Selektsionnaya otsenka prispevayushchikh drevostoev sosny obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh Voronezhskoy oblasti* [Selection evaluation of maturing stands of Scots pine in geographical cultures of the Voronezh region]. Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rastenii [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants]. 2022, v. 25, pp. 120–123.
- [62] Shmal'gauzen I.I. *Faktory evolyutsii. Teoriya stabiliziruyushchego otbora* [Factors of evolution. Theory of stabilizing selection]. Moscow-Leningrad: AN SSSR, 1946, 396 p.
- [63] Yablokov A.V., Yusufov A.G. *Evolyutsionnoe uchenie (Darvinizm)* [Evolutionary doctrine (Darwinism)]. Moscow: Vysshaya shkola, 1989, 335 p.
- [64] Voychal' P.I. *Geograficheskie kul'tury sosny v Arkhangelskoy oblasti* [Geographical cultures of pine in the Arkhangelsk region]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1961, no. 11, pp. 32–42.
- [65] Timofeev V.P. *Osobennosti rosta sosny raznogo proiskhozhdeniya v lesnoy optynoy Timiryazevskoy akademii* [Peculiarities of growth of pine of different origins in the forest experimental Timiryazev Academy]. Izvestiya TSKhA [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 1973, v. 2, pp. 130–146.
- [66] Iroshnikov A.I. *Geograficheskie kul'tury khvoynykh v Yuzhnoy Sibiri* [Geographical cultures of conifers in Southern Siberia]. Geograficheskie kul'tury i plantatsii khvoynykh v Sibiri [Geographical cultures and plantations of conifers in Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 1977, pp. 4–110.
- [67] Pikhel'gas E.I. *Geograficheskie optynye kul'tury sosny obyknovennoy v Estonskoy SSR* [Geographical experimental crops of Scots pine in the Estonian SSR]. Geograficheskie optynye v lesnoy selektsii Pribaltiki [Geographical experiments in forest selection in the Baltics]. Riga: Zinatne, 1982, pp. 73–81.
- [68] Naryshkin M.A., Vakurov A.D., Peterson Yu.V. *Geograficheskie kul'tury sosny obyknovennoy pod Moskvoy* [Geographical crops of Scots pine near Moscow]. Lesovedenie [Russian J. of Forest Science], 1983, no. 2, pp. 50–57.
- [69] Oleksin Ya.B., Chertykh M., Red'ko G.I. *Novyy vzglyad na geograficheskie kul'tury sosny obyknovennoy V.D. Ogievskogo* [A new look at the geographical cultures of scots pine by V.D. Ogievsky]. Russian Forestry J., 1986, no. 6, pp. 20–24.
- [70] Shutyayev A.M., Veresin M.M. *Produktivnost' geograficheskikh populyatsiy sosny obyknovennoy* [Productivity of geographical populations of Scots pine]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1990, no. 11, pp. 36–38.
- [71] Pisarenko A.I., Red'ko G.I., Merzlenko M.D. *Iskusstvennye lesa* [Artificial forests], in 2 parts. Moscow: VNIITslesresurs, 1992, part. 2, 240 p.
- [72] Kuz'mina N.A. *Osobennosti rosta geograficheskikh kul'tur sosny obyknovennoy v Priangare* [Peculiarities of growth of geographical crops of Scots pine in the Angara region]. Lesovedenie [Russian J. of Forest Science], 1999, no. 4, pp. 23–29.
- [73] Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V. *Semenyye plantatsii severnykh ekotipov sosny obyknovennoy* [Seed orchards of northern ecotypes of Scots pine]. Arkhangelsk: Izd-vo Pomorskogo gosuniversiteta, 1999, 143 p.
- [74] Tsarev A.P., Pogiba SP., Trenin V.V. *Selektsiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod* [Selection and reproduction of forest tree species]. Moscow: Logos, 2002, 497 p.
- [75] Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R., Milyutin L.I. *Differentsiatsii sosny obyknovennoy po rostu i vy-zhivaemosti geograficheskikh kul'turakh Priangara* [Differentiation of Scots pine by growth and survival in geographical cultures of the Angara region]. Khvoynye boreal'nye zony [Conifers of the boreal area], 2004, v. 2, pp. 48–56.
- [76] Solomnikov A.A., Shiryaev V.A. *Issledovanie rosta geograficheskikh kul'tur sosny v Bryanskoy oblasti* [Study of the growth of geographical pine crops in the Bryansk region]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Current problems of the forest complex], 2005, no. 12, pp. 55–58.
- [77] Gayfullina A.R., Dukhtanova N.V. *Rost i sostoyanie geograficheskikh kul'tur sosny v Zav'yalovskom lesnichestve Udmurtskoy Respubliki* [Growth and condition of geographical pine cultures in the Zavyalovskoye forestry of the Udmurt Republic]. Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Vestnik of the Izhevsk State Agricultural Academy], 2008, no. 3, pp. 59–60.
- [78] Tishechkin A.N. *Rost, razvitiye i produktivnost' pritundrovogo i severo-taiezhnogo ekotipov sosny obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh na Urale* [Growth, development and productivity of tundra and northern taiga ecotypes of Scots pine in geographical cultures in the Urals]. Sovremennye problemy pritundrovyykh lesov: materialy Vseros. (s mezhdunar. uchastiem) konf. [Modern problems of tundra forests: materials of Vseros. (with international participation) conf.]. Arkhangelsk, September 4–9, 2012. Arkhangelsk: SAFU, 2012, pp. 189–192.

- [79] Rebko S.V., Poplavskaya L.F. *Rost klimatipov sosny obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh* [Growth of Scots pine climatypes in geographical cultures]. Prirodnye resursy i ekologiya Dal'nevostochnogo regiona: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. foruma [Natural resources and ecology of the Far Eastern region: materials of Int. науч. pract. forum]. Khabarovsk, October 25–26, 2012, Khabarovsk: Izd-vo TOGU, 2013, pp. 159–162.
- [80] Naumov V.D., Povetkina N.L., Lebedev A.V., Gemonov A.V. *Geograficheskie kul'tury sosny v Lesnoy optynoy dache Timiryazevskoy akademii (k 180-letiyu M.K. Turskogo)* [Geographical cultures of pine in the Forest Experimental Dacha of the Timiryazev Academy (to the 180th anniversary of M.K. Tursky)]. Moscow: MESKh, 2019, 182 p.
- [81] Mikhaylova M.I. *Rost i produktivnost' lesostepnykh i stepnykh ekotipov sosny obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh* [Growth and productivity of forest-steppe and steppe ecotypes of Scots pine in geographical cultures]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: nauka i praktika [Current directions of scientific research in the 21st century: science and practice], 2019, v. 7, no. 3, pp. 166–171.
- [82] Oleksyn J., Giertych M. Results of a 70 years old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance experiment in Pulawy, Poland. *Silvae Genetica*, 1984, v. 33, no. 1, pp. 22–27.
- [83] Kuz'min S.R., Kuz'mina N.A. *Otbor perspektivnykh klimatipov sosny obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh raznykh lesorastitel'nykh usloviy* [Choosing the promising climatypes of scots pine in geographic cultures in different forest growth conditions]. *Lesovedenie* [Russian J. of Forest Science], 2020, no. 5, pp. 451–465.
- [84] Odum Yu. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of Ecology]. Moscow: Mir, 1975, 740 p.
- [85] Vidyakin A.I. *Efektivnost' plyusovoy selektsii drevesnykh rasteniy* [Efficiency of plus selection of woody plants]. Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal area], 2010, v. 27, no. 1–2, pp. 18–24.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Deputy Director for Research at the Bolshaya Kokshaga State Nature Reserve, Candidate of Agricultural Sciences A.V. Isaev, and to the student of PGTU A.I. Prygunova, for their assistance in collecting the material.

The work was carried out under the Russian Science Foundation grant No. 23-16-00220, <https://rscf.ru/project/23-16-00220/>

Authors' information

Demakov Yuriy Petrovich — Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Department of scientific and international activities of the Volga State University of Technology, DemakovYP@volgatech.net

Sheykina Ol'ga Viktorovna — Dr. Sci. (Biology), Associate Professor of the Volga State University of Technology, ShejkinaOV@volgatech.net

Sharapov Evgeniy Sergeevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Volga State University of Technology, SharapovES@volgatech.net

Korolev Aleksandr Sergeevich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher of the Department of scientific and international activities, of the Volga State University of Technology, KorolevAS@volgatech.net

Received 22.08.2024.

Approved after review 13.05.2025.

Accepted for publication 23.09.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest