

Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ХВОИ СОСНЫ ГОРНОЙ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ

Введение. Интродукция, как одна из традиционных сфер хозяйственной деятельности [Головкин, 1981], располагает хорошо развитой теоретической платформой [Базилевская, 1964; Лапин и др., 1979; Бессчетнова, 1983], совершенным арсеналом методических инструментов, системой объективных критериев и индикаторов оценки эффективности проводимых мероприятий [Культиасов, 1953; Шлыков, 1963]. В наши дни она неизменно выступает действенным средством расширения и совершенствования породного состава искусственных насаждений различного целевого назначения и конструкций [Лапин и др., 1979; Бессчетнова и др., 2017; Кулькова и др., 2018, 2020; Бабаев и др., 2021; Есичев и др., 2022; Kulkova et al., 2022]. При этом особую важность приобретают усилия по адаптации и введению в культуру представителей наиболее значимых в хозяйственном плане древесных пород [Лапин и др., 1979; Воробьев, Тебенюкова, 2013а, б; Бессчетнов и др., 2018; Кулькова и др., 2018; Есичев и др., 2022; Kulkova et al., 2022]. В данный перечень, безусловно, входят многочисленные виды рода Сосна (*Pinus* L.). Их высокая адаптивность и экологическая пластичность, обширность зоны распространения и многостороннее практическое применение подробно описаны российскими [Алехин, 1951; Правдин, 1964; Мамаев, 1972; Моллаева, Темботова, 2024] и зарубежными [Mátyás et al., 2023; Alade et al., 2024; Bravo-Fernández et al., 2024] исследователями. В настоящее время на территории России идентифицировано 16 аборигенных и 73 инорайонных вида сосен [Орлова, 2001], среди которых сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) рассматривается как наиболее востребованная в утилитарном отношении [Алехин, 1951; Правдин, 1964; Мамаев, 1972], а сосна горная (*Pinus mugo* Turra) признается весьма перспективной в указанном плане [Popović, 1976; Nardi, Minghetti, 1999; Charra-Vaskou, Mayr, 2011; Dai et al., 2017]. Они неизменно находятся в поле зрения российских [Besschetnova et al., 2023; Feklistov et al., 2023; Gorelov et al., 2023] и иностранных исследователей [Bobowicz, Krzakowa, 1986; Christensen, 1987; Hamerník, Musil,

2007], в работах которых нашли отражение итоги проведения селекционных [Старова и др., 1990; Раевский, 2013; Besschetnova et al., 2023; Gorelov et al., 2023] и интродукционных [Zeidler et al., 2012; Korznikov, 2016] мероприятий, вскрыты многие аспекты, касающиеся морфологии [Бессчетнова, Бессчетнов, 2017; Boratyńska et al., 2004, 2015], физиологии [Васфилов, 2005; Шавнин и др., 2023; Charra-Vaskou, Mayr, 2011; Celiński et al., 2019], пигментного состава [Тарханов и др., 2023; Wachowiak et al., 2004; Peguero-Pina et al., 2008] и других характеристик хвои [Boratyńska et al., 2004]. Традиционно используемая в целом ряде стран сосна горная [Bobowicz, Krzakowa, 1986; Christensen, 1987; Hamerník, Musil, 2007] относится к числу экзотов Нижегородского Поволжья, которые лишь в последнее время стали широко использоваться в создании объектов городского озеленения. Перспективность её успешного расселения в новых местах обитания обуславливается тем, что сложившиеся в регионе лесорастительные условия предопределяют широкое распространение и успешное развитие хвойных древесных пород средней полосы Северного полушария [Алехин, 1951; Аверкиев, 1954]. Во многом это подтверждается имеющимися сведениями о генетической близости и гибридизации между естественно произрастающей здесь сосной обыкновенной и инорайонной сосной горной [Christensen, 1987; Boratynska, Boratynski, 2007; Wachowiak et al., 2016; Kormutak et al., 2019; Klobučník et al., 2021, 2022]. На фоне проведения масштабных и разносторонних исследований сосны обыкновенной в Нижегородской области [Бессчетнова, Бессчетнов, 2017; Besschetnova et al., 2023; Gorelov et al., 2023] сосна горная здесь пока еще мало изучена.

Цель работы – сравнительная оценка морфометрических параметров хвои сосны горной и сосны обыкновенной в лесорастительных условиях Нижегородского Поволжья.

Материалы и методика исследований. Объектом исследований служили саженцы сосны горной и сосны обыкновенной, произраставшие в школьном отделении учебно-опытного питомника Нижегородского государственного агротехнологического университета с географическими координатами 56°19'43" с.ш. 44°00'07" в.д. и абсолютной высотой 141 м. Для выращивания сеянцев, а затем саженцев сосны горной, равно как и сосны обыкновенной, использованы семена местной репродукции (ГАУ НО «Семеновский спецсемлесхоз») одного года заготовки. Маточные растения сосны горной (источники семян) дислоцированы на интродукционном участке указанного спецсемлесхоза, куда были завезены из ГУП МО

«Ивантеевский лесной селекционный опытно-показательный питомник». Семена сосны обыкновенной заготовлены в нормальных насаждениях Семеновского лесничества. По лесорастительному районированию его территория лежит в границах района хвойно-широколиственных лесов европейской части Российской Федерации, который входит в зону хвойно-широколиственных лесов. В нем распространены серые лесные, а также дерново-подзолистые и подзолистые почвы, климат относительно влажный с умеренно тёплым и влажным летом и умеренно суровой снежной зимой. Методологический подход предусматривал реализацию принципа единственного логического различия и соблюдение ключевых требований к организации опыта – пригодности, типичности, целесообразности и надежности. Элиминация дифференцирующего эффекта экологических факторов достигалась введением в комплекс сравнения объектов и соответствующих им биологических образцов только в пределах одного опытного участка с едиными схемами и сроками рядовой посадки, одинаковой агротехникой создания и выращивания, однотипным видом и одним возрастом исходного посадочного материала. Размещение посадочных мест (70×35 см) рандомизировано, что позволило реализовать принципы случайности, равномерности и повторности учетных единиц для каждого вида сосны. Это исключило целенаправленное предоставление какому-либо из семенных потомств (аборигенов и интродуцентов) преимуществ в условиях произрастания и формирования габитуальных и иных характеристик, в частности, побегов и хвои. Сведенное к минимуму влияние факторов среды на проявление различий по анализируемым признакам позволило объяснять их наличие только влиянием генотипически обусловленной специфики изучаемых объектов на межвидовом и внутривидовом уровне. Исключение влияния фактора времени, порождающего хронографическую изменчивость, обеспечивалось одновременной заготовкой образцов, синхронными наблюдениями и учетами показателей, сравнением только одно-возрастных деревьев, их частей и органов.

Теоретической платформой проведенных исследований служили имеющиеся фундаментальные публикации по заданной тематике [Цельникер, 1955; Котов, 1995]. Работы выполнены полевым стационарным и лабораторным методами в третьей декаде ноября 2023 г., что в фенологическом плане соответствовало завершению фазы перехода растений в состояние зимнего покоя. Оба вида сосны были представлены в 14 повторностях, которыми выступали учетные деревья, выбранные в случайном порядке по принципу типичности. С каждого из них заготовлено по 5 побегов приро-

ста текущего года, которые служили источником биологических проб (20 парных пучков хвои с каждого побега). Общее количество последних составило 1400 единиц по каждому виду, содержащих в сумме 5600 хвоинок. Брахибласты с признаками поражения хвои биотическими и абиотическими факторами отбраковывались и не включались в выборку. Предметом исследования выступала способность особей сравниваемых видов, находящихся в ювенильной фазе онтогенеза, формировать в течение одного вегетационного периода листовой аппарат. Измерения линейных параметров хвои проведены электронным штангенциркулем FinePower DC0220 с точностью до 0,01 мм. Массу навески определяли на прецизионных аналитических весах Acculab Vicon VIC-300d3 с точностью до 0,001 г. Статистический и дисперсионный анализ осуществлен согласно традиционным организационно-методическим схемам, масштабы изменчивости определяли по шкале С.А. Мамаева [1972].

Результаты исследования. Установлены заметные фенотипические различия по линейным параметрам и массе 1-летней хвои как между сравниваемыми видами, так и между особями, принадлежащими каждому из них (табл. 1–3).

Таблица 1

Длина 1-летней хвои двух видов сосны

The length of 1-year-old needles of two pine species

Зоны	M±m	СКО	max.	min.	Δlim	Cv, %	t	P, %
Сосна горная								
Дерево 1	6,14±0,085	0,85	8,70	4,20	4,50	13,85	72,22	1,38
Дерево 2	7,91±0,162	1,62	10,35	4,30	6,05	20,48	48,84	2,05
Дерево 3	5,81±0,129	1,29	8,65	3,85	4,80	22,23	44,98	2,22
Дерево 4	7,54±0,150	1,50	9,40	4,10	5,30	19,90	50,25	1,99
Дерево 5	6,88±0,147	1,47	9,80	4,40	5,40	21,41	46,70	2,14
Дерево 6	7,08±0,193	1,93	10,50	3,40	7,10	27,25	36,69	2,73
Дерево 7	7,72±0,241	2,41	13,20	3,60	9,60	31,27	31,98	3,13
Дерево 8	5,89±0,082	0,82	8,90	4,00	4,90	13,88	72,03	1,39
Дерево 9	6,34±0,130	1,30	9,00	4,30	4,70	20,53	48,71	2,05
Дерево 10	7,32±0,156	1,56	9,90	4,30	5,60	21,30	46,94	2,13

Окончание табл. 1

Зоны	M±m	СКО	max.	min.	Δlim	Cv, %	t	P, %
Дерево 11	6,73±0,177	1,77	11,00	4,00	7,00	26,23	38,12	2,62
Дерево 12	8,33±0,101	1,01	10,60	3,35	7,25	12,13	82,44	1,21
Дерево 13	7,16±0,079	0,79	8,65	3,85	4,80	11,02	90,77	1,10
Дерево 14	8,08±0,215	2,15	11,40	3,00	8,40	26,63	37,56	2,66
Total	7,07±0,046	1,72	13,20	3,00	10,20	24,34	153,71	0,65
Сосна обыкновенная								
Дерево 1	4,60±0,095	0,95	6,50	2,05	4,45	20,57	48,61	2,06
Дерево 2	3,90±0,072	0,72	5,20	2,00	3,20	18,47	54,13	1,85
Дерево 3	5,60±0,157	1,57	7,50	1,50	6,00	28,05	35,65	2,80
Дерево 4	4,63±0,065	0,65	6,10	3,05	3,05	14,05	71,15	1,41
Дерево 5	4,21±0,103	1,03	6,40	2,20	4,20	24,55	40,73	2,45
Дерево 6	4,17±0,075	0,75	8,50	2,30	6,20	17,97	55,66	1,80
Дерево 7	3,92±0,063	0,63	5,40	2,50	2,90	15,96	62,67	1,60
Дерево 8	4,96±0,098	0,98	6,95	2,15	4,80	19,82	50,44	1,98
Дерево 9	4,58±0,129	1,29	6,90	2,00	4,90	28,27	35,38	2,83
Дерево 10	5,10±0,105	1,05	7,70	3,00	4,70	20,56	48,65	2,06
Дерево 11	5,06±0,126	1,26	7,50	1,80	5,70	24,84	40,26	2,48
Дерево 12	3,50±0,050	0,50	5,00	2,00	3,00	14,34	69,72	1,43
Дерево 13	4,85±0,179	1,79	9,20	2,40	6,80	37,00	27,03	3,70
Дерево 14	3,50±0,040	0,40	4,50	2,50	2,00	11,30	88,46	1,13
Total	4,47±0,032	1,20	9,20	1,50	7,70	26,90	139,11	0,72

Примечание: М – среднее арифметическое, см; m – ошибка выборочного среднего, см; СКО – среднеквадратическое отклонение, см; max. – абсолютный максимум, см; min. – абсолютный минимум, см; Δlim – диапазон лимитов, см; Cv – коэффициент вариации, %; t – опытное значение критерия Стьюдента ($t_{05} = 1,98$; $t_{01} = 2,63$); P – относительная ошибка или точность опыта, %; Total – обобщенное среднее в пределах вида, см

Весьма информативным параметром хвои выступает её длина, в нашем случае рассматривавшаяся как среднее значение для пары хвоинок, сформировавшихся в пучке на одном брахибласте (табл. 1). Так, у сосны горной указанные значения учетных деревьев составили от $5,81 \pm 0,129$ см и

5,89±0,082 см до 8,33±0,101 см и 8,08±0,215 см. При этом на фоне обобщенного среднего (7,07±0,046 см) внутривидовое превышение большего над меньшим достигло 2,52 см (иными словами, они различаются в 1,43 раза). Разброс величин, оцениваемый диапазоном лимитов ($\Delta\text{lim} = \text{max.} - \text{min.}$), оказался равным 10,20 см ($\text{max.} = 13,20$ см; $\text{min.} = 3,00$ см), а их отношение – 4,40, что в оценках по коэффициенту вариации ($C_v = 24,34\%$) соответствовало среднему уровню изменчивости по шкале Мамаева ($C_v = 16...25\%$). В пределах отдельного учетного дерева изменчивость хотя и относилась к тому же уровню (от 11,02% до 26,63%), но в среднем была несколько меньше (20,58%). Аналогичные параметры у сосны обыкновенной в целом были заметно ниже – от 3,50±0,040 см до 5,60±0,157 см, что дало превышение большего над меньшим на 2,10 см (в 1,6 раза). Обобщенное в пределах представителей вида среднее зафиксировано на уровне 4,47±0,032 см, а соответствующий ему абсолютный диапазон Δlim составил 7,70 см ($\text{max.} = 9,20$ см; $\text{min.} = 1,50$ см) при отношении лимитов 6,13. Внутривидовая фенотипическая дисперсия в этом случае оказалась более заметной. Сопоставление средних величин разных видов сосен обнаружило превосходство сосны горной по этому признаку на 2,60 см или в 1,58 раза.

Близким в смысловом отношении признаком (который, как и средняя длина хвоинок в пучке, относится к производным от длины, зафиксированной при непосредственном измерении) является суммарная длина хвои в её парном пучке, сформировавшемся на отдельном брахибласте (табл. 2).

Таблица 2

Суммарная длина хвои в одном пучке у двух видов сосны

The total length of needles in one bundle of two pine species

Зоны	M±m	СКО	max.	min.	Δlim	C_v , %	T	P, %
Сосна горная								
Дерево 1	12,29±0,170	1,70	17,40	8,40	9,00	13,85	72,22	1,38
Дерево 2	15,83±0,324	3,24	20,70	8,60	12,10	20,48	48,84	2,05
Дерево 3	11,62±0,258	2,58	17,30	7,70	9,60	22,23	44,98	2,22
Дерево 4	15,07±0,300	3,00	18,80	8,20	10,60	19,90	50,25	1,99
Дерево 5	13,75±0,294	2,94	19,60	8,80	10,80	21,41	46,70	2,14
Дерево 6	14,16±0,386	3,86	21,00	6,80	14,20	27,25	36,69	2,73

Окончание табл. 2

Зоны	M±m	СКО	max.	min.	Δlim	Cv, %	T	P, %
Дерево 7	15,44±0,483	4,83	26,40	7,20	19,20	31,27	31,98	3,13
Дерево 8	11,78±0,163	1,63	17,80	8,00	9,80	13,88	72,03	1,39
Дерево 9	12,68±0,260	2,60	18,00	8,60	9,40	20,53	48,71	2,05
Дерево 10	14,64±0,312	3,12	19,80	8,60	11,20	21,30	46,94	2,13
Дерево 11	13,47±0,353	3,53	22,00	8,00	14,00	26,23	38,12	2,62
Дерево 12	16,67±0,202	2,02	21,20	6,70	14,50	12,13	82,44	1,21
Дерево 13	14,32±0,158	1,58	17,30	7,70	9,60	11,02	90,77	1,10
Дерево 14	16,15±0,430	4,30	22,80	6,00	16,80	26,63	37,56	2,66
Total	14,13±0,092	3,44	26,40	6,00	20,40	24,34	153,71	0,65
Сосна обыкновенная								
Дерево 1	9,21±0,189	1,89	13,00	4,10	8,90	20,57	48,61	2,06
Дерево 2	7,81±0,144	1,44	10,40	4,00	6,40	18,47	54,13	1,85
Дерево 3	11,20±0,314	3,14	15,00	3,00	12,00	28,05	35,65	2,80
Дерево 4	9,25±0,130	1,30	12,20	6,10	6,10	14,05	71,15	1,41
Дерево 5	8,43±0,207	2,07	12,80	4,40	8,40	24,55	40,73	2,45
Дерево 6	8,34±0,150	1,50	17,00	4,60	12,40	17,97	55,66	1,80
Дерево 7	7,85±0,125	1,25	10,80	5,00	5,80	15,96	62,67	1,60
Дерево 8	9,91±0,197	1,97	13,90	4,30	9,60	19,82	50,44	1,98
Дерево 9	9,16±0,259	2,59	13,80	4,00	9,80	28,27	35,38	2,83
Дерево 10	10,20±0,210	2,10	15,40	6,00	9,40	20,56	48,65	2,06
Дерево 11	10,12±0,251	2,51	15,00	3,60	11,40	24,84	40,26	2,48
Дерево 12	7,01±0,101	1,01	10,00	4,00	6,00	14,34	69,72	1,43
Дерево 13	9,70±0,359	3,59	18,40	4,80	13,60	37,00	27,03	3,70
Дерево 14	7,00±0,079	0,79	9,00	5,00	4,00	11,30	88,46	1,13
Total	8,94±0,064	2,41	18,40	3,00	15,40	26,90	139,11	0,72

Примечание: М – среднее арифметическое, см; m – ошибка выборочного среднего, см; СКО – среднеквадратическое отклонение, см; max. – абсолютный максимум, см; min. – абсолютный минимум, см; Δlim – диапазон лимитов, см; Cv – коэффициент вариации, %; t – опытное значение критерия Стьюдента ($t_{05} = 1,98$; $t_{01} = 2,63$); P – относительная ошибка или точность опыта, %; Total – обобщенное среднее в пределах вида, см

Характер распределения значений учетных деревьев и формат их соотношения практически не отличались от таковых по вышеописанному признаку (табл. 1). В частности, у сосны горной наибольшее ($16,67 \pm 0,202$ см) и наименьшее ($11,62 \pm 0,258$ см) средние значения образовали превосходство первого над вторым на 5,05 см или в 1,43 раза. Остальные оценки сравнительно равномерно распределились относительно обобщенного для рассматриваемого массива данных среднего ($14,13 \pm 0,092$ см). При заметных количественно-размерных отличиях ($\max.=26,40$ см; $\min.=6,00$ см; $\Delta\lim=20,40$ см) соотношения между лимитами логически стабильны – 4,40 (табл. 1). Фон изменчивости в пределах представителей данного вида также сопоставим с аналогичными показателями по предыдущему признаку ($C_v = 24,34\%$) и соответствовал среднему уровню ($C_v = 16...25\%$) той же шкалы. Сходным образом сложилась картина распределения значений данного признака в массиве учетных деревьев сосны обыкновенной – от $7,00 \pm 0,079$ см и $7,01 \pm 0,101$ см до $11,20 \pm 0,314$ см. Такое их соотношение создало разницу на 4,20 см или в 1,6 раза. При этом в большинстве своем они в той или иной степени приближались к обобщенному среднему ($8,49 \pm 0,064$ см). Абсолютные величины рассматриваемого параметра при их синхронно возросшем размере ($\max. = 18,40$ см; $\min.=3,00$ см), образовав больший диапазон ($\Delta\lim=15,40$ см), сохранили баланс ($\max./\min.=6,13$). Индивидуальная изменчивость особей сосны обыкновенной ($C_v = 26,90\%$) в рассматриваемом примере соответствует повышенному уровню шкалы Мамаева ($C_v = 26...35\%$). И в этом случае (табл. 2) большие значения признака наблюдались у сосны горной, она превосходила сосну обыкновенную на 5,19 см или в 1,58 раза.

Надежным критерием сравнительных испытаний двух рассматриваемых видов сосны выступала масса одного парного пучка хвои (табл. 3).

Таблица 3

Масса отдельного пучка хвои у двух видов сосны
The mass of a separate bundle of needles of two pine species

Зоны	$M \pm m$	СКО	max.	min.	$\Delta\lim$	$C_v, \%$	t	P, %
Сосна горная								
Дерево 1	$0,06 \pm 0,002$	0,02	0,11	0,01	0,10	38,44	26,02	3,84
Дерево 2	$0,11 \pm 0,002$	0,02	0,17	0,07	0,10	21,69	46,10	2,17
Дерево 3	$0,04 \pm 0,001$	0,01	0,08	0,02	0,06	33,14	30,18	3,31
Дерево 4	$0,09 \pm 0,002$	0,02	0,13	0,05	0,08	21,57	46,36	2,16
Дерево 5	$0,07 \pm 0,001$	0,01	0,09	0,03	0,06	21,26	47,03	2,13

Окончание табл. 3

Зоны	M±m	СКО	max.	min.	Δlim	Cv, %	t	P, %
Дерево 6	0,09±0,003	0,03	0,15	0,03	0,12	32,14	31,11	3,21
Дерево 7	0,08±0,003	0,03	0,18	0,03	0,15	40,18	24,89	4,02
Дерево 8	0,07±0,001	0,01	0,10	0,04	0,06	19,45	51,42	1,94
Дерево 9	0,06±0,002	0,02	0,10	0,03	0,07	26,93	37,14	2,69
Дерево 10	0,09±0,002	0,02	0,14	0,03	0,11	28,25	35,39	2,83
Дерево 11	0,08±0,003	0,03	0,15	0,03	0,12	37,49	26,67	3,75
Дерево 12	0,10±0,002	0,02	0,13	0,05	0,08	17,57	56,93	1,76
Дерево 13	0,07±0,002	0,02	0,10	0,01	0,09	31,30	31,95	3,13
Дерево 14	0,08±0,004	0,04	0,16	0,01	0,15	46,26	21,62	4,63
Total	0,08±0,001	0,03	0,18	0,01	0,17	37,33	100,22	1,00
Сосна обыкновенная								
Дерево 1	0,04±0,001	0,01	0,07	0,01	0,06	34,58	28,92	3,46
Дерево 2	0,03±0,001	0,01	0,05	0,01	0,04	32,21	31,05	3,22
Дерево 3	0,07±0,004	0,04	0,15	0,01	0,14	56,77	17,62	5,68
Дерево 4	0,04±0,001	0,01	0,08	0,02	0,06	36,35	27,51	3,64
Дерево 5	0,04±0,002	0,02	0,08	0,01	0,07	42,65	23,45	4,26
Дерево 6	0,03±0,001	0,01	0,05	0,01	0,04	32,27	30,99	3,23
Дерево 7	0,03±0,001	0,01	0,05	0,02	0,03	26,86	37,23	2,69
Дерево 8	0,04±0,002	0,02	0,07	0,01	0,06	44,07	22,69	4,41
Дерево 9	0,04±0,002	0,02	0,06	0,01	0,05	41,92	23,86	4,19
Дерево 10	0,04±0,002	0,02	0,09	0,02	0,07	36,40	27,47	3,64
Дерево 11	0,05±0,002	0,02	0,09	0,01	0,08	39,62	25,24	3,96
Дерево 12	0,03±0,001	0,01	0,04	0,02	0,02	23,34	42,84	2,33
Дерево 13	0,04±0,002	0,02	0,08	0,01	0,07	47,91	20,87	4,79
Дерево 14	0,03±0,001	0,01	0,05	0,01	0,04	27,42	36,47	2,74
Total	0,04±0,001	0,02	0,15	0,01	0,14	50,82	73,62	1,36

Примечание: M – среднее арифметическое, г; m – ошибка выборочного среднего, г; СКО – среднеквадратическое отклонение, г; max. – абсолютный максимум, г; min. – абсолютный минимум, г; Δlim – диапазон лимитов, г; Cv – коэффициент вариации, %; t – опытное значение критерия Стьюдента ($t_{05} = 1,98$; $t_{01} = 2,63$); P – относительная ошибка или точность опыта, %; Total – обобщенное среднее в пределах вида, г

В этом случае различия между особями сосны горной более заметны: масса отдельного пучка меняется в диапазоне от $0,04 \pm 0,001$ г до $0,11 \pm 0,002$ г при их обобщенном среднем значении $0,08 \pm 0,001$ г. Большее из указанных значений превосходило меньшее на $0,068$ г или в $2,59$ раза. Лимиты ($\max. = 0,18$ г; $\min. = 0,01$ г) различались еще более контрастно – на $0,17$ г или в 18 раз. Отмеченный разброс значений образовал изменчивость ($C_v = 37,33\%$), соответствующую высокому уровню по шкале Мамаева ($C_v = 36 \dots 50\%$). Выступавшая в опыте контролем сосна обыкновенная обладала свойственной именно ей картиной баланса значений данного показателя – от $0,03 \pm 0,001$ г до $0,07 \pm 0,004$ г; при обобщенном среднем значении $0,04 \pm 0,001$ г; большее из них превосходило меньшее на $0,041$ г или в $2,57$ раза. Абсолютные величины ($\max. = 0,15$ г; $\min. = 0,01$ г) различались между собой более весомо – на $0,14$ г или в 15 раз. В сложившейся ситуации оцениваемая коэффициентом вариации изменчивость ($C_v = 50,82\%$) соответствовала её очень высокому уровню ($C_v > 50\%$). Вполне логично, что по данному параметру сохранилось превосходство сосны горной над сосной обыкновенной (в данном конкретном случае на $5,19$ г или в $1,58$ раза).

Остальные признаки имели характерные для каждого из них описательные статистики. Весь полученный на данном этапе вычислений материал статистически надежен, что можно признать исходя из оценок критерия Стьюдента, namного превысивших свои табличные величины как на 5-процентном, так и на 1-процентном уровне значимости, а также судя по размерам относительной ошибки, которая в подавляющем большинстве случаев не преодолела допустимый 5-процентный рубеж. Поскольку описываемые различия между сравниваемыми особями проявились на выравненном фоне экологических условий, то причиной их возникновения с большой долей вероятности можно признать специфику генотипов самих растений семенного происхождения, сформировавшуюся как на межвидовом уровне, так и в пределах каждого вида. Это нашло подтверждение в результатах однофакторного дисперсионного анализа, проведенного по всему комплексу тестируемых признаков каждого вида (табл. 4).

По всем анализируемым признакам 1-летней хвои сосны горной опытные значения критерия Фишера ($F_{\text{оп}}$) во много раз превышали критические значения, установленные для 5-процентного и 1-процентного уровней значимости. Такой исход дисперсионного анализа позволил продолжить его в части нахождения доли влияния организованных факторов. В рассматриваемом случае ими выступали различия между собственно учетными деревьями

Таблица 4

Существенность различий в морфометрических признаках хвои**The significance of differences in the quantitative parameters of needles**

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ± s _h ²)				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору			
		h ²	± s _h ²	h ²	± s _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Сосна горная							
Признак 1	27,79	0,2068	0,0074	0,2113	0,0074	0,427	0,723
Признак 2	27,79	0,2068	0,0074	0,2113	0,0074	0,853	1,447
Признак 3	53,38	0,3336	0,0063	0,3438	0,0062	0,007	0,011
Признак 4	123,25	0,5362	0,0044	0,5500	0,0042	0,018	0,031
Признак 5	54,92	0,3400	0,0062	0,3503	0,0061	0,339	0,575
Сосна обыкновенная							
Признак 1	35,98	0,2523	0,0070	0,2592	0,0069	0,290	0,491
Признак 2	35,98	0,2523	0,0070	0,2592	0,0069	0,579	0,982
Признак 3	38,56	0,2656	0,0069	0,2730	0,0068	0,005	0,008
Признак 4	0,94	0,0088	0,0093	—	—	0,015	0,026
Признак 5	22,14	0,1719	0,0078	0,1745	0,0077	0,317	0,537

Примечание: $F_{\text{оп}}$ – опытное значение критерия Фишера; $F_{05/01}$ – табличное значение на 5-процентном и 1-процентном уровне значимости ($F_{05/01} = 1,75/2,12$); h^2 – доля влияния организованного фактора; s_h^2 – ошибка доли влияния организованного фактора; F_h^2 – критерий достоверности доли влияния организованного фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости; D_{05} – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости. Число первичных единиц выборки по одному признаку – 1400; общая ёмкость базы данных – 14000 дата-единиц

Признаки хвои: признак 1 – средняя длина хвои в парном пучке на одном брахибласте, см; признак 2 – суммарная длина хвои в парном пучке на одном брахибласте, см; 3 – масса хвои в парном пучке на одном брахибласте, г; признак 4 – коэффициент асимметрии длины хвоинок в их парном пучке на одном брахибласте; признак 5 – распределенная масса хвои как отношение массы её парного пучка к суммарной длине хвоинок в нем, г/см.

семенного происхождения. В расчетах по алгоритму Плохинского указанный показатель принимал значения от $20,68 \pm 0,74\%$ (признаки 1, 2) до $53,62 \pm 0,44\%$ (признак 4) при их весьма высокой достоверности: $F_h = 22,79 \dots 123,25$ при $F_{05/01} = 1,75/2,12$. В отношении сосны обыкновенной

получен сходный по смыслу результат за исключением оценок по коэффициенту асимметрии длины хвои в отдельном пучке на одном брахибласте. Указанный признак для всех учетных деревьев оказался практически одинаковым – максимально приближенным к единице, что означало предельно выравненное развитие хвоинок в их отдельном пучке, что явилось причиной отсутствия существенных различий ($F_{\text{оп}} < F_{05}/F_{01}$). По остальным параметрам хвои различия статистически значимы, что позволило определить для них эффекты влияния организованных факторов. Привлечение для этих целей алгоритма Плохинского показало, что указанные оценки достигли величин от $17,19 \pm 0,78\%$ (признак 5) до $26,56 \pm 0,69\%$ (признак 3) при их достаточной достоверности: $F_h = 22,14 \dots 38,56$ при $F_{05}/F_{01} = 1,75/2,12$. Проведение тех же расчетов по алгоритму Снедекора дало вполне сопоставимый результат. Величины наименьшей существенной разности (HCP_{05}) и критерия Тьюки (D_{05}) позволили установить, между какими именно объектами рассматриваемых совокупностей (табл. 1–3) различия относятся к категории существенных.

Подтверждение факта наследственной обусловленности изменчивости рассматриваемых параметров хвои (табл. 4) при достоверности их описательных статистик (табл. 1–3) дало основания для сопоставления фенотипических проявлений признаков у сосны горной и сосны обыкновенной и выявления масштабов межвидовых различий в ходе проведения двухфакторного дисперсионного анализа (табл. 5).

Таблица 5

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа параметров хвои сосны горной и сосны обыкновенной

The results of a two-way ANOVA of the mountain pine and Scots pine needle parameters

Фактор влияния, источник дисперсии	Критерий Фишера $F_{\text{оп}}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)			
		по Плохинскому		по Снедекору	
		h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$
Средняя длина хвои в парном пучке на одном брахибласте, см (признак 1)					
Видоспецифичность (A)	2724,76	0,4335	0,0002	0,5560	0,0002
Повторности (B)	7,62	0,0158	0,0046	0,0095	0,0046
Взаимодействие (AB)	53,06	0,1097	0,0042	0,1488	0,0040
Остаток (Z)	—	0,4410	0,5590	0,2858	0,7142

Окончание табл. 5

Фактор влияния, источник дисперсии	Критерий Фишера F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ± s _h ²)			
		по Плохинскому		по Снедекору	
		h ²	± s _h ²	h ²	± s _h ²
Суммарная длина хвои в парном пучке на одном брахибласте, см (признак 2)					
Видоспецифичность (А)	2724,76	0,4335	0,0002	0,5560	0,0002
Повторности (В)	7,62	0,0158	0,0046	0,0095	0,0046
Взаимодействие (АВ)	53,06	0,1097	0,0042	0,1488	0,0040
Остаток (Z)	–	0,4410	0,5590	0,2858	0,7142
Масса хвои в парном пучке на одном брахибласте, г (признак 3)					
Видоспецифичность (А)	2570,83	0,3893	0,0002	0,4969	0,0002
Повторности (В)	19,18	0,0378	0,0045	0,0246	0,0046
Взаимодействие (АВ)	77,76	0,1531	0,0040	0,2078	0,0037
Остаток (Z)	–	0,4198	0,5802	0,2707	0,7293
Коэффициент асимметрии длины хвоинок в их парном пучке (признак 4)					
Видоспецифичность (А)	65,59	0,0138	0,0004	0,0216	0,0004
Повторности (В)	71,59	0,1965	0,0038	0,1654	0,0039
Взаимодействие (АВ)	74,52	0,2045	0,0037	0,3445	0,0031
Остаток (Z)	–	0,5852	0,4148	0,4685	0,5315
Распределенная масса хвои как отношение её массы к суммарной длине, г/см (признак 5)					
Видоспецифичность (А)	849,76	0,1826	0,0003	0,2642	0,0003
Повторности (В)	17,98	0,0502	0,0045	0,0370	0,0045
Взаимодействие (АВ)	61,34	0,1714	0,0039	0,2630	0,0035
Остаток (Z)	–	0,5958	0,4042	0,4358	0,5642

Примечание: факторы влияния: **A** – организованный фактор, действие которого обусловлено межвидовыми различиями представителей рода Сосна; **B** – организованный фактор, действие которого связано с различиями между повторностями опыта (учетные деревья); **AB** – эффект взаимодействия организованных факторов **A** и **B**; **Z** – неорганизованный фактор или остаточная дисперсия, соответствующая внутригрупповой (случайной) изменчивости, индуцируемой пестротой фона не учитываемых в опыте факторов среды

Обозначения: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; $F_{05/01}$ – табличное значение критерия Фишера на 5-процентном уровне значимости ($F_{05/01A} = 3,84/6,64$; $F_{05/01B} = 1,72/2,12$; $F_{05/01AB} = 1,72/2,12$); h^2 – доля влияния организованного фактора; s_h^2 – ошибка доли влияния организованного фактора. Число первичных единиц выборки каждого признака – 2800; общая емкость базы данных – 14000 дата-единиц

Существенность различий по фактору **A**, что в нашем случае отражает влияние видоспецифичности, получила подтверждение по всем анализируемым признакам: опытные критерии Фишера ($F_{\text{опA}} = 65,59 \dots 2724,76$) уверенно преодолели свой предельный порог ($F_{05/01A} = 3,84/6,64$). Это создало предпосылки для выполнения второго этапа анализа с вычислением значений доли факториальной дисперсии. В расчетах по алгоритму Плохинского оценки колебались в пределах от $1,38 \pm 0,04$ (признак 4) до $43,35 \pm 0,02$ (признаки 1 и 2) при их высокой достоверности. Фактор **B**, действие которого связано с внутривидовыми особенностями учетных деревьев, также вызывал возникновение различий, соответствующих уровню существенных, по всем рассматриваемым параметрам. Соответствующие ему расчетные критерии Фишера ($F_{\text{опB}} = 7,62 \dots 71,59$) столь же успешно превысили предельно допустимый минимум ($F_{05/01B} = 1,72/2,12$). Однако доля влияния этого фактора в большинстве случаев была ниже – от $1,58 \pm 0,46$ (признаки 1 и 2) до $19,65 \pm 0,38$ (признак 4). Эффект взаимодействия организованных факторов (фактор **AB**) оказался достоверным и достаточно результативным. Он, как и в вышеописанных случаях, генерировал существенные различия по каждой из тестируемых характеристик листового аппарата исследованных сосен: $F_{\text{опAB}} = 53,06 \dots 77,76$ при $F_{05/01AB} = 1,72/2,12$. При этом его доля в общей фенотипической дисперсии была выше, чем по фактору **B** – от $10,97 \pm 0,42$ (признаки 1 и 2) до $20,45 \pm 0,37$ (признак 4), хотя и уступала аналогичным оценкам по фактору **A**. Остаточная дисперсия (фактор **Z**), возникновение которой традиционно связывают с пестротой фона не учитываемых в опыте факторов среды, как правило, доминировала при вполне ощутимых размерах (от 41,98% до 59,58%).

Выводы. 1. Сосна горная при её переносе в Нижегородскую область развивает хвою, сопоставимую по своим количественным характеристикам с аналогичными параметрами типичных представителей вида, произрастающих в границах естественного ареала, что позволяет признать определенное соответствие её биологии лесорастительным условиям, сложившимся в зоне интродукции;

2. Внутривидовая фенотипическая изменчивость рассматриваемых признаков сосны горной и сосны обыкновенной, в значительной степени обусловленная спецификой генотипов принадлежащих им особей, указывает на возможность выделения из их состава растений с наиболее ценными в декоративном и общебиологическом отношении характеристиками;

3. Отсутствие признаков постинтродукционной депрессии и следов поражения биотическими и абиотическими факторами особей сосны гор-

ной в местах её расселения позволяет признать адекватность экологических реакций зоне интродукции и достаточную адаптированность вида, свидетельствует о широких возможностях её введения в состав искусственных насаждений различного целевого назначения, что, в свою очередь, будет способствовать расширению регионального ассортимента привлекаемых для этих целей древесных и кустарниковых пород.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Аверкиев Д.С. История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Ученые записки Горьковского университета. 1954. Вып. XXXV. С. 119–136.

Алехин В.В. Растительность СССР в основных зонах. 2-е изд. М.: Советская наука, 1951. 512 с.

Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Лигнификация ксилемы разных видов березы при интродукции в условиях Нижегородской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 40–56. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.40-56

Базилевская Н.А. Теории и методы интродукции растений. М.: Московский государственный университет, 1964. 131 с.

Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в условиях Нижегородской области // ИВУЗ. Лесной журнал. 2018. № 1. С. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9.

Бессчетнова М.В. Адаптационные процессы с позиции интродукции растений // Бюллетень Главного ботанического сада. 1983. Вып. 128. С. 1–6.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Изменчивость морфометрических признаков хвои на клоновой плантации плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21, № 2. С. 198–206. DOI 10.18699/VJ17.237

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea* A. Dietr.) в условиях интродукции // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57

Васфилов С.П. Изменчивость сухой массы и содержание воды в хвое *Pinus sylvestris* (Pinaceae) // Ботанический журнал. 2005. Т. 90, № 8. С. 1235–1247.

Воробьев Р.А., Тебенькова Д.Н. Содержание основных пигментов в однолетней и двухлетней хвое интродуцентов рода Ель (*Picea* L.) в условиях подзоны южной тайги (на примере Нижегородской области) // Лесоведение. 2013а. № 3. С. 8–15.

Воробьев Р.А., Тебенькова Д.Н. Развитие вегетативных и генеративных органов представителей рода Ель (*Picea* L.), интродуцированных в Нижегородской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 20136. № 7. С. 97–105.

Головкин Б.Н. История интродукции растений в ботанических садах. М.: Московский государственный университет, 1981. 123 с.

Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич А.Н., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую область // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 1. С. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27

Котов М.М. Отбор семян сосны для лесосеменных плантаций // Лесное хозяйство. 1995. № 1. С. 44–46.

Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*) // ИВУЗ. Лесной журнал. 2018. № 6. С. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23

Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Применение стимулирующей обработки в укоренении черенков ели Коники // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91.

Культиасов М.В. Эколого-исторический метод в интродукции растений // Бюллетень Главного ботанического сада. 1953. Вып. 15. С. 24–40.

Лапин П.И., Калущий К.К., Калущая О.Н. Интродукция лесных пород. М.: Лесная промышленность, 1979. 224 с.

Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 283 с.

Моллаева М.З., Темботова Ф.А. Морфологическая изменчивость ассимиляционного аппарата *Pinus sylvestris* L. в пределах Тебердинского национального парка // ИВУЗ. Лесной журнал. 2024. № 1. С. 91–100. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-91-100

Орлова Л.В. О диагностических признаках вегетативных органов в роде *Pinus* (Pinaceae) // Ботанический журнал. 2001. Т. 86, № 9. С. 33–44.

Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.

Раевский Б.В. Особенности вегетативного роста клонов сосны обыкновенной в Карелии // ИВУЗ. Лесной журнал. 2013. № 4. С. 7–15.

Старова Н.В., Янбаев Ю.А., Юмадилов Н.Х., Адлер Э.Н., Духарев В.А., Шишапов З.Х. Генетическая изменчивость сосны обыкновенной в возрастных группах // Генетика. 1990. Т. 26, № 3. С. 498–505.

Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А., Аганина Ю.Е., Пахов А.С. Изменчивость биохимических признаков *Pinus sylvestris* (Pinaceae) при адаптации форм в условиях избыточного увлажнения // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. № 4. С. 58–75. DOI: 37482/0536-1036-2023-4-58-75

Цельникер Ю.Н. Скорость потери воды изолированными листьями древесных пород и устойчивость их к обезвоживанию // Труды института леса АН СССР. 1955. Т. 27. С. 6–28.

Шавнин С.А., Юсупов И.А., Монтиле А.А., Голиков Д.Ю., Марина Н.В. Сезонная динамика содержания компонентов антиокислительной системы хвой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне локального теплового воздействия // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. № 2. С. 38–57. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-38-57

Шлыков Г.Н. Интродукция и акклиматизация растений. М.: Сельхозиздат, 1963. 488 с.

Alade A.A., Hoette C., Militz H. Coatings Adhesion on Chemically Modified Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Woods // Forests. 2024. Vol. 15, iss. 3. Art. no. 526. DOI: 10.3390/f15030526

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntsev V.A. Differentiation of the plus trees of Scots pine on the physiological status of xylem // IVUZ. Lesnoy Zhurnal. 2023. No. 4. P. 9–25.

Bobowicz M.A., Krzakowa M. Morphological differences between *Pinus mugo* Turra populations from the Tatra Mts. revealed by cone traits // Acta Societatis Botanorum Poloniae. 1986. Vol. 55, no. 2. P. 263–273. DOI: 10.5586/asbp.1986.027

Boratyńska K., Muchewicz E., Drojma M. *Pinus mugo* Turra geographic differentiation based on needle characters // Dendrobiology. 2004. Vol. 51. P. 9–17.

Boratyńska K., Boratyński A. Taxonomic differences among closely related pines *Pinus sylvestris*, *P. mugo*, *P. uncinata*, *P. rotundata* and *P. uliginosa* as revealed in needle sclerenchyma cells // Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2007. Vol. 202, iss. 7. P. 555–569. DOI: 10.1016/j.flora.2006.11.004

Boratyńska K., Jasińska A.K., Boratyński A. Taxonomic and geographic differentiation of *Pinus mugo* complex on the needle characteristics // Systematics and Biodiversity. 2015. Vol. 13, iss. 6. P. 1–15. DOI:10.1080/14772000.2015.1058300

Bravo-Fernández J.A., García-Viñas J.I., Serrada R. Soil Compaction and Productivity Evolution in a Harvested and Grazed Mediterranean Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Forest // Forests. 2024. Vol. 15, iss. 3. Art. no. 451. DOI: 10.3390/f15030526

Celiński K., Chudzińska E., Gmur A., Piosik L., Wojnicka-Półtorak A. Cytological characterization of three closely related pines – *Pinus mugo*, *P. uliginosa* and *P. × rhaetica* from the *Pinus mugo* complex (Pinaceae) // Biologia. 2019. Vol. 74, iss. 7. P. 751–756. DOI:10.2478/s11756-019-00201-6

Charra-Vaskou K., Mayr S. The hydraulic conductivity of the xylem in conifer needles (*Picea abies* and *Pinus mugo*) // Journal of Experimental Botany. 2011. Vol. 62, no. 12. P. 4383–4390. DOI:10.1093/jxb/err157

Christensen K.I. Taxonomic revision of the *Pinus mugo* complex and *P. × rhaetica* (*P. mugo* × *sylvestris*) (Pinaceae) // Nordic Journal of Botany. 1987. Vol. 7, no. 4. P. 383–408. DOI:10.1111/j.1756-1051.1987.tb00958.x

Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. *Pinus mugo* Krummholz Dynamics During Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines // Mountain Research and Development. 2017. Vol. 37, no. 1. P. 75–86. DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00104.1

Feklistov P.A., Sobolev A.N., Babich N.A., Sungurova N.R., Melekhov V.I., Bolotov I.N. Edge Effect in Pine Stands in the Northern Taiga // IVUZ. Lesnoy Zhurnal. 2023. No. 2. P. 26–37. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-26-37

Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Comparative assessment of the taxation indicators of plus trees of Scots pine on a forest seed plantation // Conifers of the boreal area. 2023. Vol. 40, no. 7 (special). P. 577–584.

Hamernik J., Musil I. The *Pinus mugo* complex – its structuring and general overview of the used nomenclature // Journal of Forest Science. 2007. Vol. 53, iss. 6. P. 253–266. DOI: 10.17221/2020-JFS

Klobučník M., Galgóci M., Bolecek P., Gömöry D., Kormuťák A. Crossability of Putative Hybrids of *Pinus sylvestris* and *Pinus mugo* with Their Parents // American Journal of Plant Sciences. 2021. Vol. 12, iss. 8. P. 1246–1258. DOI: 10.4236/ajps.2021.128087

Klobučník M., Galgóci M., Gömöry D., Kormuťák A. Molecular Insight into Genetic Structure and Diversity of Putative Hybrid Swarms of *Pinus sylvestris* × *P. mugo* in Slovakia // Forests. 2022. Vol. 13, iss. 2. Art. no. 205. DOI: 10.3390/f13020205

Kormuťák A., Brana M., Galgóci M., Manka P., Sukenikova D., Libantova J., Gömöry D. Pollen fertility and seed viability of putative hybrid swarms of *Pinus sylvestris* and *Pinus mugo* in Slovakia // Silvae Genetica. 2019. Vol. 68, iss. 1. P. 14–21. DOI:10.2478/sg-2019-0003

Korznikov K.A. Naturalization of *Pinus mugo* Turra (Pinaceae) in southeast Sakhalin, Russia // Botanica Pacifica. A journal of plant science and conservation. 2016. Vol. 5, no. 1. P. 95–98. DOI: 10.17581/bp.2016.0510

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaev Y.Zh., Kentbaeva B.A. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment // IVUZ. Lesnoy Zhurnal. 2022. No. 4. P. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51

Mátyás C., Balázs P., Nagy L. Climatic Stress Test of Scots Pine Provenances in Northeastern Europe Reveals High Phenotypic Plasticity and Quasi-Linear Response to Warming // Forests. 2023. Vol. 14, iss. 10. Art. no. 1950. DOI: 10.3390/f14101950

Nardi E., Minghetti P. Proposal to Conserve the Name *Pinus mugo* (Pinaceae) with a Conserved Type // Taxon. 1999. Vol. 48, no. 3. P. 571–572. DOI: 10.2307/1224568

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

Popovic M. Growth of the Mountain Pine (*Pinus mugo*, Turra.) in Yugoslavia // Journal of Biogeography. 1976. Vol. 3, no. 3. P. 261–267. DOI: 10.2307/3038016

Wachowiak W., Bączkiewicz A., Celiński K., Prus-Głowacki W. Species-specific chloroplast DNA polymorphism in the trnV-rbcL region in *Pinus sylvestris* and *P. mugo* // *Dendrobiology*. 2004. Vol. 51. P. 67–72.

Wachowiak W., Żukowska W.B., Wójcikiewicz B., Cavers S., Litkowiec M. Hybridization in contact zone between temperate European pine species // *Tree Genetics & Genomes*. 2016. Vol. 12. Art. no. 48. DOI:10.1007/s11295-016-1007-x

Zeidler M., Duchoslav M., Banaš M., Lešková M. Impacts of introduced dwarf pine (*Pinus mugo*) on the diversity and composition of alpine vegetation // *Community Ecology*. 2012. Vol. 13, no. 2. P. 213–220. DOI:10.1556/ComEc.13.2012.2.11

References

Alade A.A., Hoette C., Militz H. Coatings Adhesion on Chemically Modified Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Woods. *Forests*, 2024, vol. 15, iss. 3, art. no. 526. DOI: 10.3390/f15030526

Alekhin V.V. The vegetation of the USSR in the main zones. Second edit. Moscow: Soviet science Publ., 1951. 512 p. (In Russ.)

Averkiev D.S. The history of the development of the vegetation cover of the Gorky region and its botanical and geographical division. *Scientific notes of the Gorky University*, 1954, iss. XXXV, pp. 119–136. (In Russ.)

Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Lignification of xylem of different birch species during introduction in the Nizhny Novgorod region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2021, iss. 235, pp. 40–56. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.40-56. (In Russ.)

Bazilevskaya N.A. Theories and methods of plant introduction. Moscow: Moscow State University Publ., 1964. 131 p. (In Russ.)

Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Yesichev A.O. Assessment of the physiological state of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2018, no. 1, pp. 9–17. DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2018.1.9. (In Russ.)

Besschetnova M.V. Adaptation processes from the standpoint of plant introduction. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada*, 1983, iss. 128, pp. 1–6. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Variability of morphometrical characteristics of needles at a clonal plantation of plus trees of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 2017, vol. 21, iss. 2, pp. 198–206. DOI 10.18699/VJ17.237. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kulkova A.V., Mishukova I.V. Starch content in the tissues of shoots of different types of spruce (*Picea* A. Dietr.) under the introduction conditions. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2017, no. 4, pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntsev V.A. Differentiation of the plus trees of Scots pine on the physiological status of xylem. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 4, pp. 9–25.

Bobowicz M.A., Krzakowa M. Morphological differences between *Pinus mugo* Turra populations from the Tatra Mts. revealed by cone traits. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1986, vol. 55, no. 2, pp. 263–273. DOI: 10.5586/asbp.1986.027

Boratyńska K., Boratyński A. Taxonomic differences among closely related pines *Pinus sylvestris*, *P. mugo*, *P. uncinata*, *P. rotundata* and *P. uliginosa* as revealed in needle sclerenchyma cells. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2007, vol. 202, iss. 7, pp. 555–569. DOI: 10.1016/j.flora.2006.11.004

Boratyńska K., Jasińska A.K., Boratyński A. Taxonomic and geographic differentiation of *Pinus mugo* complex on the needle characteristics. *Systematics and Biodiversity*, 2015, vol. 13, iss. 6, pp. 1–15. DOI:10.1080/14772000.2015.1058300

Boratyńska K., Muchewicz E., Drojma M. *Pinus mugo* Turra geographic differentiation based on needle characters. *Dendrobiology*, 2004, vol. 51, pp. 9–17.

Bravo-Fernández J.A., García-Viñas J.I., Serrada R. Soil Compaction and Productivity Evolution in a Harvested and Grazed Mediterranean Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Forest. *Forests*, 2024, vol. 15, iss. 3, art. no. 451. DOI: 10.3390/f15030526

Celiński K., Chudzińska E., Gmur A., Piosik Ł., Wojnicka-Póltorak A. Cytological characterization of three closely related pines – *Pinus mugo*, *P. uliginosa* and *P. × rhaetica* from the *Pinus mugo* complex (Pinaceae). *Biologia*, 2019, vol. 74, iss. 7, pp. 751–756. DOI:10.2478/s11756-019-00201-6

Charra-Vaskou K., Mayr S. The hydraulic conductivity of the xylem in conifer needles (*Picea abies* and *Pinus mugo*). *Journal of Experimental Botany*, 2011, vol. 62, no. 12, pp. 4383–4390. DOI: 10.1093/jxb/err157

Christensen K.I. Taxonomic revision of the *Pinus mugo* complex and *P. × rhaetica* (*P. mugo* × *sylvestris*) (Pinaceae). *Nordic Journal of Botany*, 1987, vol. 7, no. 4, pp. 383–408. DOI:10.1111/j.1756-1051.1987.tb00958.x

Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. *Pinus mugo* Krummholz Dynamics During Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines. *Mountain Research and Development*, 2017, vol. 37, no. 1, pp. 75–86. DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00104.1

Feklistov P.A., Sobolev A.N., Babich N.A., Sungurova N.R., Melekhov V.I., Bolotov I.N. Edge Effect in Pine Stands in the Northern Taiga. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 2, pp. 26–37. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-26-37

Golovkin B.N. The history of plant introduction in botanical gardens. Moscow: Moscow State University Publ., 1981. 123 p. (In Russ.)

Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Comparative assessment of the taxation indicators of plus trees of Scots pine on a forest seed plantation. *Coniferous boreal zones*, 2023, vol. 40, no. 7 (special), pp. 577–584.

Hamernik J., Musil I. The *Pinus mugo* complex – its structuring and general overview of the used nomenclature. *Journal of Forest Science*, 2007, vol. 53, iss. 6, pp. 253–266. DOI: 10.17221/2020-JFS

Klobučník M., Galgóci M., Bolecek P., Gömöry D., Kormuťák A. Crossability of Putative Hybrids of *Pinus sylvestris* and *Pinus mugo* with Their Parents. *American Journal of Plant Sciences*, 2021, vol. 12, iss. 8, pp. 1246–1258. DOI: 10.4236/ajps.2021.128087

Klobučník M., Galgóci M., Gömöry D., Kormuťák A. Molecular Insight into Genetic Structure and Diversity of Putative Hybrid Swarms of *Pinus sylvestris* × *P. mugo* in Slovakia. *Forests*, 2022, vol. 13, iss. 2, art. no. 205. DOI: 10.3390/f13020205

Kormuťák A., Brana M., Galgóci M., Manka P., Sukenikova D., Libantova J., Gömöry D. Pollen fertility and seed viability of putative hybrid swarms of *Pinus sylvestris* and *Pinus mugo* in Slovakia. *Silvae Genetica*, 2019, vol. 68, iss. 1, pp. 14 – 21. DOI:10.2478/sg-2019-0003

Korznikov K.A. Naturalization of *Pinus mugo* Turra (Pinaceae) in southeast Sakhalin, Russia. *Botanica Pacifica. A journal of plant science and conservation*, 2016, vol. 5, no. 1, pp. 95–98. DOI: 10.17581/bp.2016.0510

Kotov M.M. Selection of pine seedlings for forest seed plantations. *Lesnoe hozyaystvo*, 1995, no. 1, pp. 44–46. (In Russ.)

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multiparametric analysis in the assessment of species specificity of representatives of the genus spruce (*Picea*) // *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2018, no. 6, pp. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23. (In Russ.)

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Application of stimulating treatment in rooting of conic spruce cuttings. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2020, iss. 232, pp. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91. (In Russ.)

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaev Y.Zh., Kentbaeva B.A. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2022, no. 4, pp. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51

Kultiasov M.V. Ecological and historical method in plant introduction. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada*, 1953, iss. 15, pp. 24–40. (In Russ.)

Lapin P.I., Kalutskiy K.K., Kalutskaya O.N. Introduction of forest species. Moscow: Forest Industry, 1979. 224 p. (In Russ.)

Mamaev S.A. Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of the Pinaceae family in the Urals). Moscow: Science, 1972. 283 p. (In Russ.)

Mátyás C., Balázs P., Nagy L. Climatic Stress Test of Scots Pine Provenances in Northeastern Europe Reveals High Phenotypic Plasticity and Quasi-Linear Response to Warming. *Forests*, 2023, vol. 14, iss. 10, art. no. 1950. DOI: 10.3390/f14101950

Mollaeva M.Z., Tembotova F.A. Morphological variability of the assimilation apparatus of *Pinus sylvestris* L. within the Teberdinsky National Park. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2024, no. 1, pp. 91–100. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-91-100. (In Russ.)

Nardi E., Minghetti P. Proposal to Conserve the Name *Pinus mugo* (Pinaceae) with a Conserved Type. *Taxon*, 1999, vol. 48, no. 3, pp. 571–572. DOI: 10.2307/1224568

Orlova L.V. On the diagnostic features of the vegetative organs in the genus *Pinus* (Pinaceae). *Botanicheskij zhurnal*, 2001, vol. 86, iss. 9, pp. 33–44. (In Russ.)

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

Popovic M. Growth of the Mountain Pine (*Pinus mugo*, Turra.) in Yugoslavia. *Journal of Biogeography*, 1976, vol. 3, no. 3, pp. 261–267. DOI: 10.2307/3038016

Pravdin L.F. The Scots pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection. Moscow: Science, 1964. 190 p. (In Russ.)

Rayevsky B.V. Features of vegetative growth of clones of scots pine in Karelia. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 7–15. (In Russ.)

Shavnin S.A., Yusupov I.A., Montile A.A., Golikov D.Yu., Marina N.V. Seasonal dynamics of the content of components of the antioxidant system of pine needles (*Pinus sylvestris* L.) in the zone of local thermal exposure. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 2, pp. 38–57. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-38-57. (In Russ.)

Shlykov G.N. Introduction and acclimatization of plants. Moscow: Agricultural Publishing House, 1963. 488 p. (In Russ.)

Starova N.V., Yanbaev Yu.A., Yumadilov N.H., Adler E.N., Dukharev V.A., Shigapov Z.H. Genetic variability of Scots pine in age groups. *Genetika*, 1990, vol. 26, no. 3, pp. 498–505. (In Russ.)

Tarkhanov S.N., Pinayevskaya E.A., Aganina Yu.E., Plakhov A.S. Variability of biochemical signs of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) during adaptation of forms under conditions of excessive moisture. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 4, pp. 58–75. DOI: 37482/0536-1036-2023-4-58-75. (In Russ.)

Vasfilov S.P. Variability of dry mass and water content in conifers of *Pinus sylvestris* (Pinaceae). *Botanicheskij zhurnal*, 2005, vol. 90, no. 8, pp. 1235–1247. (In Russ.)

Vorobyov P.A., Tebenkova D.N. The content of basic pigments in annual and biennial needles of introduced species of Spruce (*Picea* L.) in the conditions of the southern taiga subzone (on the example of the Nizhny Novgorod region). *Lesovedenie*, 2013a, no. 3, pp. 8–15. (In Russ.)

Vorobyov P.A., Tebenkova D.N. Development of vegetative and generative organs of representatives of the genus Spruce (*Picea* L.) introduced in the Nizhny Novgorod region. *Lesnoj vestnik*, 2013b, no. 7, pp. 97–105. (In Russ.)

Wachowiak W., Bączkiewicz A., Celiński K., Prus-Głowacki W. Species-specific chloroplast DNA polymorphism in the trnV-rbcL region in *Pinus sylvestris* and *P. mugo*. *Dendrobiology*, 2004, vol. 51, pp. 67–72.

Wachowiak W., Żukowska W.B., Wójcikiewicz B., Cavers S., Litkowiec M. Hybridization in contact zone between temperate European pine species. *Tree Genetics & Genomes*, 2016, vol. 12, art. no. 48. DOI: 10.1007/s11295-016-1007-x

Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich A.N., Kentbaev E.Zh., Kentbayeva B.A. The content and balance of spare substances in Siberian larch shoots under conditions of reintroduction to the Nizhny Novgorod region. *Lesnoj vestnik*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27. (In Russ.)

Zeidler M., Duchoslav M., Banaš M., Lešková M. Impacts of introduced dwarf pine (*Pinus mugo*) on the diversity and composition of alpine vegetation. *Community Ecology*, 2012, vol. 13, no. 2, pp. 213–220. DOI:10.1556/ComEc.13.2012.2.11

Zelniker Yu.N. The rate of water loss by isolated leaves of tree species and their resistance to dehydration. *Trudy instituta lesa AN SSSR*, 1955, vol. 27, pp. 6–28. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 12.04.2024

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Количественные параметры хвои сосны горной при интродукции в Нижегородскую область // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 252. С. 55–79. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.55-79

Были изучены морфометрические параметры 1-летней хвои сосны горной (*Pinus mugo* Turra) как интродуктанта в Нижегородской области в сравнении с сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), входящей в состав аборигенной дендрофлоры. Актуальность работы обусловлена высокой востребованностью представителей рода Сосна (*Pinus* L.) при создании искусственных насаждений различного целевого назначения и конструкций, в том числе путем привлечения для этих целей растений из состава инорайонных популяций. Методологический подход предусматривал соблюдение принципа единственного логического различия и соблюдение базовых требований к постановке опыта – типичности, пригодности, целесообразности и надежности. Объектом исследований служили 5-летние саженцы сосны горной и сосны обыкновенной, размещенные на опытном участке Нижегородского государственного агротехнологического университета с географическими координатами 56°19'43" с.ш. 44°00'07" в.д. и абсолютной высотой 141 м. Исследования проведены полевым стационарным и лабораторным методами. Предметом исследования выступала способность особей сравниваемых видов, находящихся в ювенильной фазе онтогенеза, формировать в течение одного вегетационного периода листовую аппарат. Длину хвои фиксировали электронным штангенциркулем FinePower DC0220 с точностью до 0,01 мм, массу – на прецизионных аналитических весах Acculab Vicon VIC-300d3 с точностью до 0,001 г. Дисперсионный анализ выполнен по 1-факторной и 2-факторной схемам. Были установлены фенотипические различия по линейным параметрам и массе 1-летней хвои как между сравниваемыми видами, так и между особями, принадлежащими каждому из них. Длина хвои сосны горной составила от 5,81±0,129 см до 8,33±0,101 см, сосны

обыкновенной – от $3,50 \pm 0,040$ см до $5,60 \pm 0,157$ см. Это дало превышение большего над меньшим в первом случае на 2,52 см или в 1,43 раза, во втором – на 2,10 см или в 1,6 раза. Сходство морфометрических характеристик хвои аборигенной сосны обыкновенной и интродуцированной сосны горной указывает на принципиальную общность их биологии.

Ключевые слова: сосна горная, сосна обыкновенная, интродуценты, аборигенные виды, хвоя, морфометрические параметры, дисперсионный анализ.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Quantitative parameters of mountain pine needles during introduction to the Nizhny Novgorod region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 252, pp. 55–79 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.55-79

Morphometric parameters of 1-year-old pine needles of mountain pine (*Pinus mugo* Turra.) as an introduced species in the Nizhny Novgorod region were studied in comparison with the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), which belongs to the native dendroflora. The relevance of the work is due to the high demand for representatives of the genus Pine (*Pinus* L.) when creating artificial plantings for various purposes and structures, including attraction of plants from non-district populations for these purposes. The methodological approach provided for compliance with the principle of the only logical difference and meeting the basic requirements for the formulation of experience – typicality, suitability, expediency and reliability. The object of research was 5-year-old seedlings of Mountain pine and Scots pine, located at the experimental site of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University with geographical coordinates N56°19'43" E44°00'07" and an absolute height of 141 m. The research was carried out by field stationary and laboratory methods. The subject of the study was the ability of individuals of the compared species in the juvenile phase of ontogenesis to form a leaf apparatus during one growing season. The length of the needles was recorded with an electronic vernier caliper FinePower DC0220 with an accuracy of 0.01 mm, the weight was recorded on precision analytical scales Acculab Vicon VIC–300d3 with an accuracy of 0.001 g. The ANOVA was performed according to one-way and two-way schemes. Phenotypic differences in linear parameters and weight of 1-year-old needles were established both between the compared species and between individuals belonging to each of them. The length of the needles of Mountain pine ranged from 5.81 ± 0.129 cm to 8.33 ± 0.101 cm, of Scots pine – from 3.50 ± 0.040 cm to 5.60 ± 0.157 cm. This gave an excess of more over less in the first case by 2.52 cm or 1.43 times, in the second – by 2.10 cm or 1.6 times. The similarity of the morphometric characteristics of the needles of the native Scots pine and the introduced mountain pine indicates the fundamental similarity of their biology.

Keywords: Mountain pine, Scots pine, introduced species, native species, needles, morphometric parameters, dispersion analysis.

БЕССЧЕТНОВА Наталья Николаевна – декан факультета лесного хозяйства Нижегородского государственного агротехнологического университета, доктор сельскохозяйственных наук, доцент. ResearcherID (WoS): H-1343-2019. ORCID: 0000-0002-7140-8797. SPIN-код: 6214-7263.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: besschetnova1966@mail.ru

BESSCHETNOVA Natalya N. – DSc (Agricultural), Dean of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Associate Professor. ResearcherID (WoS): H-1343-2019. ORCID: 0000-0002-7140-8797. SPIN-code: 6214-7263.

603107, Gagarina av. 97, Nizhny Novgorod, Russia. E-mail: besschetnova1966@mail.ru

БЕССЧЕТНОВ Владимир Петрович – заведующий кафедрой лесных культур Нижегородского государственного агротехнологического университета, доктор биологических наук, профессор. ResearcherID (WoS): S-5889-2016. ORCID: 0000-0001-5024-7464. SPIN-код: 2031-5241.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: lesfak@mail.ru

BESSCHETNOV Vladimir P. – DSc (Biological), Head of the Department of Forest Plantations of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Professor. ResearcherID (WoS): S-5889-2016. ORCID: 0000-0001-5024-7464. SPIN-code: 2031-5241.

603107, Gagarina av. 97, Nizhny Novgorod, Russia. E-mail: lesfak@mail.ru