

УДК [630*18:631*527]:582.475.2

doi: 10.17223/19988591/56/8

С.Р. Кузьмин^{1,2}, А.В. Рубцов², А.П. Барченков^{1,2}, Т.В. Карпюк³

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

³Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия

Дифференциация климатипов лиственниц (*Larix* spp.) в географических культурах в лесостепи Средней Сибири

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке: гранта РНФ (№ 18-7410048), гранта РФФИ (№ 20-05-00540) и базового проекта ИЛ СО РАН (№ 0356-2019-0024).

В географических культурах в Красноярской лесостепи Средней Сибири проведен сравнительный дисперсионный анализ климатических экотипов лиственниц разных видов по высоте деревьев, площади и протяженности (длине) кроны на выборке деревьев с одинаковыми характеристиками по диаметру ствола. Установлено, что различия между климатическими экотипами разных видов лиственницы в географических культурах в условиях Красноярской лесостепи отмечаются как по высоте деревьев, так и по протяженности кроны по стволу и связаны с местом их происхождения. Климатипы лиственницы сибирской из горных территорий имеют низкие показатели высоты дерева и длины кроны. Самую короткую крону имеет высокогорный климатип с наименьшим гидротермическим коэффициентом места происхождения, высокие показатели длины кроны выявлены у климатипов лиственницы сибирской из котловин юга Сибири, а также представителя лиственницы Гмелина (даурской) из Амурской области. Самый северный климатип из южной тайги (мотыгинский, бассейн реки Ангары) уступает представителям лиственницы даурской по длине кроны.

Ключевые слова: *Larix*; климат; адаптация; диаметр ствола; высота дерева; крона дерева

Для цитирования: Кузьмин С.Р., Рубцов А.В., Барченков А.П., Карпюк Т.В. Дифференциация климатипов лиственниц (*Larix* spp.) в географических культурах в лесостепи Средней Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 56. С. 170–188. doi: 10.17223/19988591/56/8

Введение

Интерес к лиственнице в научной литературе связан со значительными различиями в таксономической дифференциации рода *Larix*, представители которого обладают широкими возможностями отдаленных скрещиваний, высокой экологической пластичностью, открывающей большие возможности интродукции за пределы ареала многих видов. В результате этого представители данного рода популярны при создании культур. Такой опыт имеет

многолетнюю историю, что отразилось в создании и исследовании географических культур лиственницы в разных регионах России: в Забайкалье [1, 2], в Красноярском крае [3, 4], в Удмуртской Республике [5], в Воронежской [6], Московской областях [7, 8], в Республике Коми [9] и других регионах. Кроме того, существуют исследования разных видов лиственницы в рамках международных проектов [10, 11] и продолжаются работы по созданию испытаний происхождений лиственницы во втором десятилетии XXI в. [9]. Географические и испытательные культуры разных видов лиственницы созданы и изучаются в Швеции [12], Финляндии [13, 14], Германии, Чехии и Словакии [15], Японии [16], Канаде [17], США [18] и других странах. В целом из-за занимаемых лиственницей огромных территорий, особенно в Сибири и Забайкалье, многие климатические расы не изучены. Генетические исследования, проведенные методами аллозимного анализа популяций лиственницы сибирской [19], представляющих широкую географию – от Эвенкии до Тывы, не выявили тесной взаимосвязи между географическим положением насаждений и степенью их генетической дифференциации. Кариологические исследования лиственницы сибирской [20] показали, что этот вид довольно устойчив к антропогенным нагрузкам, что подчеркивает перспективность исследования разных происхождений лиственницы с позиций не только лесовосстановления, но и озеленения в городских условиях.

Исследования, проведенные А.И. Ирошниковым [3] в созданных под его руководством географических культурах разных видов лиственниц в Красноярской лесостепи, которые стали объектом исследования в данной статье, показали, что потомство деревьев из высокогорных лиственничников (1 600–2 200 м) из Саура, Южного и Центрального Алтая и Танну-Ола в 10-летнем возрасте обладают очень низкими показателями роста и устойчивости. В географических культурах лиственницы в Воронежской лесостепи отмечаются низкие показатели по сохранности потомства с Алтая [6], к 10-летнему возрасту у них отмечается полная элиминация деревьев. С улучшением условий произрастания материнских насаждений (при снижении высоты над уровнем моря) происходит постепенное повышение показателей роста и сохранности потомства. Исследования П.И. Молоткова с соавт. [21] выявили, что наиболее ценный генофонд лиственницы сибирской сосредоточен в равнинных, предгорных и низкогорных популяциях верхнеенисейско-обской и саяно-ангарской рас, так как культуры, созданные из семян из этих регионов, характеризуются наиболее высокими показателями роста и устойчивости и часто не уступают при ее интродукции в европейскую часть России лиственнице Сукачева.

В настоящее время использование современного оборудования позволяет продолжать мониторинг за географическими культурами, проводить подробные инвентаризации, получать актуальные научные материалы по комплексу признаков.

Цель работы – оценка межвидовых и внутривидовых различий по росту в высоту, площади и длине кроны на примере потомств разных видов ли-

ственниц, представленных разными происхождениями, произрастающих в географических культурах в одинаковых условиях среды.

Материалы и методики исследования

Объект исследования – географические культуры лиственницы, созданные в Красноярской лесостепи на экспериментальной базе Института леса – «Погорельский бор» (56°22'06"N, 92°57'23"E) Устьюгского участкового лесничества КГБУ «Емельяновское лесничество». В настоящий момент это экспериментальное хозяйство (научный стационар) «Погорельский бор» Института леса – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН. Посадка 3–4-летних сеянцев лиственниц на экспериментальный участок (далее – географические культуры) проводилась весной 1969–1970 гг. [3]. Биологический возраст исследуемых деревьев на момент инвентаризации в 2016 г. составлял около 50 лет. Площадь участка исследуемых географических культур лиственницы – 1,5 га. В географических культурах представлены следующие виды лиственницы: л. сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), л. Гмелина (даурская) (*L. gmelinii* Rupr.), л. Чекановского (*L. czekanowskii* Szaf.), л. Каяндера (*L. cajanderi* Mayr), л. японская (*L. leptolepis* Gord.) и л. Сукачева (*L. sukaczewii* Dylis). Из них только представители сибирской, даурской, Чекановского и японской сохранились в достаточном количестве для использования их в данной работе (таблица).

Характеристики выборки климатипов лиственницы [Selection characteristics of larch climatypes]

Название климатипа (вид) [Climatype name (species)]	№	n	Long.	Lat.	Alt.	St5	VP	St10	P	H
Усть-Канский (<i>sibirica</i>) [Ust-Kansk (<i>sibirica</i>)]	1	19/13	84,73	50,92	1145	1540	137	1210	286	2,4
Чемальский (<i>sibirica</i>) [Chemal (<i>sibirica</i>)]	2	43/12	86,00	51,38	437	2330	173	2010	405	2,0
Онгудайский (<i>sibirica</i>) [Ongudai (<i>sibirica</i>)]	3	17/13	86,12	50,73	1050	1920	156	1580	286	1,8
Сонский (<i>sibirica</i>) [Son (<i>sibirica</i>)]	4	148/103	90,38	54,37	502	2169	158	1862	245	1,3
Шагонарский (<i>sibirica</i>) [Shagonar (<i>sibirica</i>)]	5	3/3	92,88	51,52	590	2251	161	1930	211	1,1
Манский (<i>sibirica</i>) [Mana (<i>sibirica</i>)]	6	13/9	93,63	55,68	361	1643	135	1305	443	3,4
Туранский (<i>sibirica</i>) [Turukhansk (<i>sibirica</i>)]	7	15/14	93,92	52,13	853	1841	147	1487	232	1,6
Каа-Хемский (<i>sibirica</i>) [Kaa-Khem (<i>sibirica</i>)]	8	19/9	94,58	51,70	633	2334	158	2036	179	0,9
Мотыгинский (<i>sibirica</i>) [Motygino (<i>sibirica</i>)]	9	28/24	94,70	58,18	129	1812	138	1587	286	1,8
Тандинский (<i>sibirica</i>) [Tanda (<i>sibirica</i>)]	10	11/4	94,77	51,00	1005	2079	152	1803	292	1,6
Тес-Хемский (<i>sibirica</i>) [Tes-Khem (<i>sibirica</i>)]	11	6/4	95,15	50,25	1093	2138	155	1864	159	0,9

Название климатипа (вид) [Climatype name (species)]	№	n	Long.	Lat.	Alt.	St5	VP	St10	P	H
Шиткинско-чунский (<i>sibirica</i>) [Shitkino-Chuna (<i>sibirica</i>)]	12	9/8	98,37	56,37	219	1967	143	1692	256	1,5
Вихоревско-жигаловский (<i>sibirica</i>) [Vikhorevka-Zhigalovo (<i>sibirica</i>)]	13	9/3	101,13	56,10	354	1749	137	1420	243	1,7
Усть-Ордынский (<i>sibirica</i>) [Ust-Orda (<i>sibirica</i>)]	14	11/14	104,65	52,77	522	1859	139	1588	337	2,1
Петровск-Забайкальский (<i>czezanowski</i>) [Petrovsk-Zabaikalie (<i>czezanowski</i>)]	15	6/4	108,82	51,27	872	1654	131	1371	306	2,2
Тунгокоченский (<i>gmelinii</i>) [Tungokochen (<i>gmelinii</i>)]	16	11/7	115,58	53,52	848	1554	127	1266	340	2,7
Чернышевский (<i>gmelinii</i>) [Chernyshevsk (<i>gmelinii</i>)]	17	9/9	117,05	52,50	658	2121	151	1828	290	1,6
Зейский (<i>gmelinii</i>) [Zeya (<i>gmelinii</i>)]	18	18/14	127,22	53,72	221	2160	151	1963	451	2,3
Томаринский (<i>leptolepis</i>) [Tomari (<i>leptolepis</i>)]	19	17/14	142,07	47,75	123	1889	157	1481	341	2,3
Пункт испытания (Погорельский бор) [Place of trial (Pogorelsky bor)]			92,95	56,37	265	1968	149	1627	255	1,6

Примечание. № – номер климатипа; n – количество деревьев в выборке с разными диаметрами (121–160/181–220 мм), шт.; Long. – долгота в десятичном формате; Lat. – широта в десятичном формате; Alt. – высота над уровнем моря, м; St5 – сумма температур > 5 °C; VP – продолжительность вегетационного периода, дни; St10 – сумма температур > 10 °C; P – сумма осадков с мая по сентябрь, мм; H – гидротермический коэффициент.

[Note. № - Climatype number; n - Selection of trees with different diameters (121-160/181-220 mm), pcs.; Long. - Decimal longitude; Lat. - Decimal latitude; Alt. - Altitude, asl; St5 - Sum of temperatures > 5 °C; VP - Duration of vegetation period, days; St10 - Sum of temperatures > 10 °C; P - Precipitations May-September, mm; H - Hydrothermal coefficient].

Климатическая характеристика мест происхождения лиственниц, представленная в таблице, составлена по данным справочников по климату СССР, гидротермический коэффициент (H) рассчитан по формуле: $H = R / (0,1CAT)$, где R – осадки с мая по сентябрь, мм; CAT – сумма активных температур (сумма средних суточных температур за период, когда они превышали 10 °C), °C. Инвентаризация живых деревьев географических культур произведена в 2016 г. с помощью программно-инструментального ГИС комплекса «Field-Mar» [22] в результате сотрудничества с отделом ГИЛ филиала «ВОСТСИБЛЕСПРОЕКТ» ФГБУ «Рослесинфорг». Комплекс состоит из набора приборов: лазерного дальномера, электронного компаса, инклинометра, GPS-приемника, планшетного компьютера, централизованно управляемых ПО ГИС «Field-Mar», и позволяет решать широкий круг задач в лесной отрасли. Инвентаризация включала четыре вида измерений – положение стволов деревьев относительно центра пробной площади с известными координатами, диаметр ствола (на высоте 1,3 м) в мм, высоту деревьев и высоту нижней живой ветки кроны в метрах, из которых рассчитывался показатель протяженности (длины) кроны каждого дерева. Перед проведе-

нием инвентаризации на пробной площади выполнена работа по расчистке территории от сухостойных и упавших деревьев; в сборе и анализе данных учтены только живые деревья. Общее количество деревьев лиственницы на пробной площади в итоге инвентаризации составило 1 674 шт.

Величины площадей крон опытных деревьев получены в результате обработки набора данных аэрофотосъемки пробной площади с высоким пространственным разрешением, которая выполнена на малых высотах в 2016 г. с помощью квадрокоптера «DJI Phantom 3 Pro» со стандартной (RGB) камерой. Этап создания единых скомпонованных изображений (ортофотомозаик) пробной площади выполнен в фотограмметрической программе «Agisoft Photoscan» (версия 1.4.0). Из серии ортофотомозаик контуры крон деревьев оцифрованы в ГИС-программе «QGIS 2.8» методом ручного добавления полигонов в новый векторный слой, из которого рассчитаны площади крон деревьев и добавлены в базу данных инвентаризации климатипов лиственницы.

Так как целью данной работы являлось установление различий между происхождениями по особенностям роста, произрастающих в одинаковых условиях среды, то в анализ не вошли потомства происхождений лиственниц, которые сохранились единично или у них не набралось необходимого количества деревьев с определенными значениями диаметров (на высоте 1,3 м) для анализа. Отбор деревьев с определенными значениями диаметров позволяет формировать выборки с максимально схожими условиями произрастания, так как мозаичный характер сохранности и образование «окон» (пустошей) на участке географических культур в результате гибели деревьев за несколько десятков лет может приводить к неравномерности в освещенности и площади питания для оставшихся живых деревьев.

Из всего набора данных выбраны 19 происхождений (климатических экотипов) различных видов лиственницы для сравнительного анализа на основе непараметрического метода – дисперсионного анализа с оценкой по критерию Краскела – Уоллиса и медианного теста [23]. Использовался подход с двумя выборками деревьев с разными диаметрами – 121–160 мм (первая группа – основная, из-за большего количества деревьев, представленных в выборках, представляющих отдельные происхождения) и 181–220 мм (вторая группа) для проверки наличия зависимости от этого показателя. Число деревьев внутри каждой выборки у климатипов варьирует от 3 (шагонарский – единственный, у которого выборка составляет менее 4 деревьев по отдельным признакам) до 148 (сонский). Общее количество деревьев в первой группе 412 и 291 во второй. В двух случаях деревья разных происхождений объединялись в один климатип из-за близкого географического положения источников семян и небольшой выборки доступных деревьев (см. таблицу): вихоревский, шестаковский и жигаловский (вихоревско-жигаловский) и шиткинский, тайшетский и она-чунский (шиткинско-чунский).

В данной работе потомства лиственницы из различных мест происхождения при сравнительном анализе изначально не разделяются на представите-

лей разных видов, а сравниваются между собой и названы условно климатическими экотипами. В отдельных случаях объединены только географически близкие потомства по происхождению для получения статистически значимых данных. В выводах представлен анализ полученных результатов с учетом видовой принадлежности исследуемых потомств лиственницы. Вычислены коэффициенты корреляции Пирсона между средними значениями по выборкам климатипов и характеристиками их мест происхождения, так как сравниваемые выборки соответствуют нормальному распределению согласно критерию Колмогорова – Смирнова и тесту Шапиро – Уилка. Коэффициент выбросов, применяемый для характеристики всех выборок, – 1,5. Статистическая обработка полученных данных и построение диаграмм выполнены в программе «StatSoft STATISTICA 8.0».

Результаты исследования и обсуждение

В результате исследований выявлено, что согласно гистограмме распределения диаметров 77% всех деревьев в географических культурах оказались в диапазоне 110–230 мм, а наиболее часто встречающееся значение диаметра – 150 мм. В первом варианте нашего анализа выбраны деревья с диаметрами 121–160 мм. В результате непараметрического дисперсионного анализа с использованием критерия Краскела – Уоллиса обнаружено, что по высоте деревьев выявлены значимые различия между климатипами как по тесту Краскела – Уоллиса ($p < 0,001$), так и по медианному тесту ($p < 0,001$). Индивидуальная изменчивость по климатипам варьирует от 5 до 17%.

Далее выбранные климатипы разделялись на три группы по медианам каждой выборки. Общая совокупность значений высот деревьев соответствовала нормальному распределению. Все три группы представлены на рис. 1, за первый вариант выборки отвечает левая половина кругов. У климатипов в группе с наименьшими значениями высоты по медиане варьирование идет от 16,8 до 17,8 м, в средней группе – от 18,0 до 18,8 м, в группе с наибольшими значениями высоты – от 19,0 до 21,4 м.

Климатипы внутри каждой группы не отличались статистически значимо друг от друга, но отмечены различия между климатипами из разных групп. Значимых корреляционных связей с характеристиками мест происхождения климатипов (см. таблицу) не выявлено. Высота над уровнем моря в местах происхождения всех климатипов в группе с наименьшими значениями высоты деревьев имеет самые высокие показатели (1 005–1 045 м) среди всех анализируемых климатипов лиственниц. Места происхождения этих климатипов (помечены на рис. 1 полностью черным цветом) расположены в юго-западной части Средней Сибири в горных и предгорных территориях Республики Алтай и Тывы. Усть-Канский климатип (№ 1) имеет наибольшее значение медианы в группе с низкой высотой деревьев (17,8 м) (рис. 2) при этом он по критерию Краскела–Уоллиса значимо ($p < 0,01$) меньше сонского

(19,6 м), туранского (20,1 м), шиткинско-чунского (20,5 м), тунгокоченского (20,3 м) и при $p < 0,05$ – томаринского (19,3 м).



Рис. 1. Расположение мест происхождения климатипов разных видов лиственниц (обозначены кружками, цвет которых отражает две выборки деревьев: деревья с диаметрами 121–160 мм (левая половина кругов) и с диаметрами 181–220 мм (правая половина), черный цвет – группа с низкими значениями высоты деревьев, серый – средними, белый – наибольшими; треугольник – географические культуры лиственничники; названия климатипов представлены в таблице по номерам)
[Fig. 1. Origins of the larch climatotypes (shown in circles where the fill-in color represents two selections of trees: trees with diameters 121-160 mm (left part of circles) and with diameters 181-220 mm (right part of circles), black color - the group of trees with low, gray color - average and white color - highest values of tree height, correspondingly; triangle - larch provenance trial plot; climatotype names by numbers are listed in the Table by numbers)]

Очевидно, что материнские деревья климатипов, места происхождения которых приурочены к горным территориям на юге ареала лиственницы сибирской, испытывали стресс из-за неблагоприятных лесорастительных условий с точки зрения доступности питательных веществ и влаги в почве. Это отразилось на показателях роста в высоту у их потомства в более благоприятных условиях Красноярской лесостепи. Деревья климатипов, у которых отсутствуют ограничения, вызываемые стрессовыми факторами мест происхождения, способны расти значительно выше.

Согласно Л.П. Рысину [24], лиственничники баданово-черничные из высокогорий Западного и Центрального Алтая имеют низкую продуктивность (бонитет V класса). Автором приводится описание лиственничников ерниково-лишайниковых, имеющих бонитеты Va и встречающихся как на Алтае, так и в Саянах на склонах с маломощными каменистыми почвами. В Восточном Саяне в долинах рек на пониженных участках террас встречаются лиственничники ерniko-вейниковo-моховые с бонитетом IV. Таким образом, если обобщать полученные результаты с литературными, то становится понятным, что с улучшением почвенных условий, совпадающих в ряде случаев с понижением высот над уровнем моря, происходит и увеличение продуктивности деревьев.

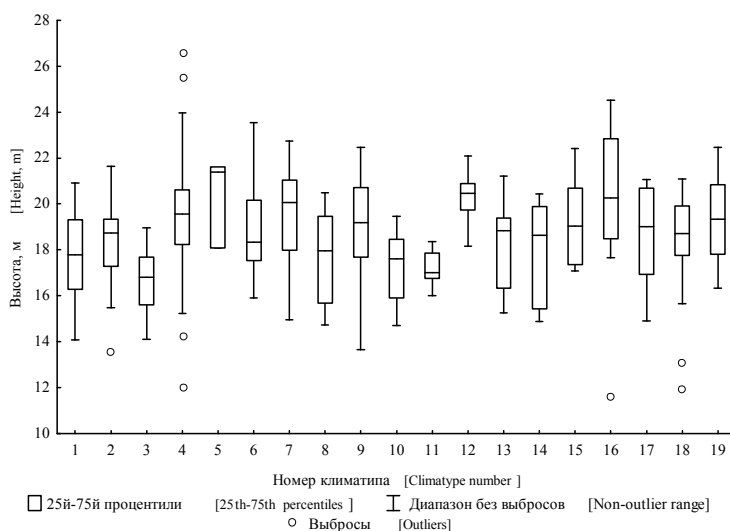


Рис. 2. Диаграммы размаха с медианами (горизонтальные линии) по высоте деревьев (с диаметрами 121–160 см)

[Fig. 2. Box-and-whisker diagrams of tree height with medians (horizontal lines) for trees with diameters 121–160 cm.

On the X-axis - Climatype number; on the Y-axis - Height, m]

Во втором варианте анализа участвовали деревья с диаметрами 181–220 см. В результате климатипы также разделялись на три группы (см. рис. 1), выделены цветом в правой части кругов. У климатипов с меньшими значениями высоты их медианы варьируют от 19,8 до 20,8 м, у средней группы – от 21,7 до 22,4 м, у группы с наибольшими значениями высоты – от 22,5 до 25,1 м. Индивидуальная изменчивость по климатипам варьирует от 3 до 12%.

Сравнение природных географических условий при разделении групп по высоте на рис. 1 показывает, что в целом группа с низкими значениями высоты сохранила свою приуроченность к горной юго-западной части ареала среди представленных происхождений. В эту группу вошел каа-хемский климатип из средней группы. Вместе с тес-хемским, представителем группы климатипов с низкой высотой, они единственные, у кого гидротермический коэффициент менее 1,0 (засушливые условия). Таким образом, именно сложный комплекс стрессовых факторов, таких как бедные почвенные условия, засушливый климат мест происхождения отдельных климатипов, является одной из причин того, что в условиях Красноярской лесостепи они не способны продуцировать высокие показатели высоты деревьев по сравнению с другими климатипами. В то же время соседние по месту происхождения климатипы – туранский и шагонарский – попадают в обоих случаях в группу с наибольшими значениями высот. Причиной этого могли стать особые географические условия их мест происхождения – Турано-Уюкская

котловина и Тувинская котловина в районе дельты рек Шагонар и Торгалыг, где они сливаются и впадают в Енисей перед Саяно-Шушенским водохранилищем. Потомства климатипов из мест без естественных стрессовых факторов в виде бедных почвенных условий или засушливых условий способны реализовывать свой потенциал роста более успешно в условиях Красноярской лесостепи (Погорельский бор). К таким климатипам помимо шагонарского и туранского относятся: шиткинско-чунский, петровск-забайкальский и тунгокоченский, в обоих вариантах выборки они попадают в группы с наибольшими значениями высот.

Проблемы с адаптацией к условиям Красноярской лесостепи у климатипов, выделенных в группу с низким ростом, можно отметить и в работе А.И. Ирошникова [3], в которой отмечается, что потомство высокогорных лиственничников (1 600–2 200 м) обладает очень низкими показателями роста и устойчивости. Выделяется тандинский климатип, который, согласно А.И. Ирошникову, в 10 лет имеет среднюю высоту на 20% ниже, чем лиственница из Хакасии с высоты 600–800 м. Высокие показатели роста согласно этой работе характерны для Манского, Саянского, Ирбейского, Бейского, Иркутского и других лесхозов, хороший рост отмечается у потомства лиственницы из бассейна рек Бирюсы и Чуны, а также из Среднего Приангарья, слабее рост у Жигаловского и Усть-Ордынского лесхозов.

Эти данные хорошо согласуются с выделяемыми нами группами, так как вихоревско-жигаловский и усть-ордынский климатипы стабильно относятся к средней группе по высоте, шиткинско-чунский стабильно относится к группе с наибольшей высотой, мотыгинский и манский в зависимости от выборки по диаметру попадают в группы со средней и наибольшей высотой.

Анализируя рост петровск-забайкальского климатипа, представителя лиственницы Чекановского, А.И. Ирошников фиксирует у него низкие показатели по сравнению с лиственницами сибирской и даурской. Согласно нашим данным, этот климатип попадает в обоих случаях в группу с наибольшими высотами, поэтому можно отметить, что с возрастом его показатели не ухудшились и его можно рассматривать как не уступающий по росту в высоту большинству представителей как лиственниц сибирской, так и даурской в условиях лесостепной зоны.

В отличие от показателей высоты деревьев, площадь кроны не оказывает значимого влияния на различия между климатипами по деревьям с диаметрами 121–160 мм в связи с сильной изменчивостью этого показателя в выборках отдельных климатипов. Так, при исследовании биометрических признаков у лиственницы европейской [25] выявлено, что для третьего класса возраста изменчивость высоты деревьев (среднее значение – 28,6 м) составляет всего 4,3%, а площади проекции кроны (среднее значение – 20,83 м²) – 58,8%.

В наших исследованиях индивидуальная изменчивость площади кроны по выборкам отдельных климатипов варьирует от 26 до 130%, что делает данный признак необъективным в оценке различий между отдельными

климатипами. Статистически значимой корреляции медианных значений площади кроны с высотой деревьев не выявлено, но отмечается значимая корреляция с географической широтой их места происхождения ($r = -0,48$; $p < 0,05$). Меньшим медианным значением значимо ($p < 0,05$) отличается шиткинско-чунский климатип от усть-ордынского, сонского, чемальского, онгудайского, шагонарского, вихоревско-жигаловского, петровск-забайкальского и зейского (рис. 3). Встречаются и другие отдельные отличия между климатипами, которые не позволяют говорить о значимом влиянии такого фактора, как площадь кроны, на различие для всей группы по тесту Краскела–Уоллиса ($p = 0,10$).

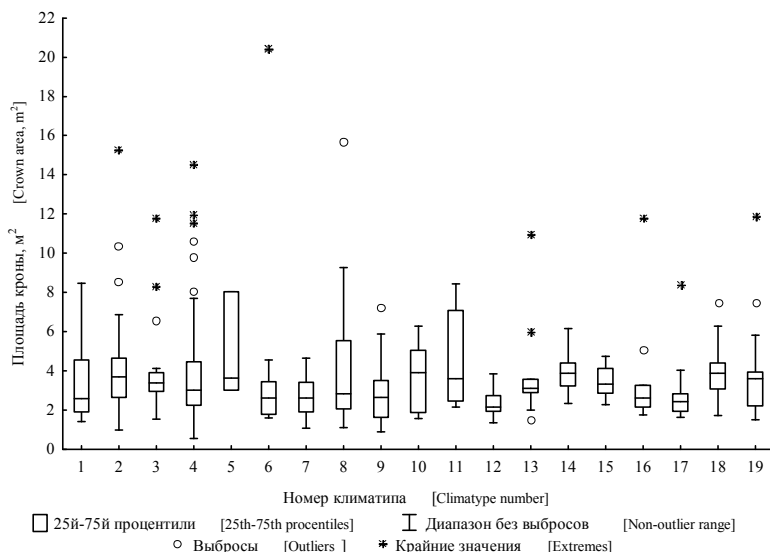


Рис. 3. Диаграммы размаха с медианами (горизонтальные линии) по площади кроны деревьев (с диаметрами 121–160 см)

[Fig. 3. Box-and-whisker diagrams of tree crown area with medians (horizontal lines) for trees with diameters 121–160 cm. On the X-axis - Climatype number; on the Y-axis - Crown area, m²]

Согласно тесту Краскела – Уоллиса ($p < 0,001$) и медианному тесту ($p < 0,01$), по длине кроны выявлены значимые различия между исследуемыми климатипами. Между медианами длины кроны и высоты деревьев климатипов отмечается значимая положительная корреляционная связь ($r = 0,70$; $p < 0,001$). Таким образом, основной закономерностью среди исследуемых климатипов является увеличение длины кроны при увеличении высоты деревьев. Из этой общей тенденции есть ряд исключений, показывающих, что некоторые климатипы отличаются от других. Эти особенности координации их ростовых процессов напрямую связаны с особенностями их мест происхождения и реакций на экологические условия в географических культурах в Красноярской лесостепи.

Индивидуальная изменчивость длины кроны варьирует от 16 до 44%. По длине кроны в группу с лидирующими показателями этого признака (медианные значения от 6,86 до 7,95 м) вошли три климатипа: шагонарский, туранский и зейский (рис. 4). Шагонарский и туранский климатипы по высоте деревьев включены в группу с наилучшими показателями роста, а зейский климатип относится к средней группе с высотой, равной 18,71 м, уступающей значимо ($p < 0,05$) сонскому климатипу с высотой 19,56 м. По длине кроны зейский значимо превосходит сонский климатип ($p < 0,001$) и вихоревско-жигаловский климатип ($p < 0,01$), который не отличается значимо от него по высоте. Это говорит, о том, что у зейского климатипа существенно ниже по стволу отмечается рост живой части кроны, что может являться особенностью этого удаленного от пункта испытания климатипа и отличающегося, в первую очередь, более влажными и теплыми климатическими условиями в пункте происхождения.

В средней группе по длине кроны (4,68–6,11 м) находится большая группа климатипов, доля кроны которых относительно высоты варьирует от 25 до 32%: сонский (25%), манский (26%), томаринский (26%), тандинский (27%), усть-канский (27%), вихоревка-жигаловский (27%), чемальский (27%), тунгокоченский (29%), петровск-забайкальский (28%), шиткино-оначунский (28%), онгудайский (31%) и чернышевский (32%). В группе с низкими (4,15–4,51 м) значениями длины кроны находятся три климатипа: каа-хемский, усть-ордынский и мотыгинский, отдельно выделяется тес-хемский климатип, имеющий наименьшее значение длины кроны (3,11 м), с медианной долей кроны относительно высоты – 18%. Это самый низкий показатель доли кроны среди всех сравниваемых климатипов, доля кроны у каа-хемского климатипа – 23%, усть-ордынского и мотыгинского климатипов – 24%. По высоте деревьев тес-хемский климатип входит в группу с низкими показателями, поэтому реализация его генетической программы проходит согласно общей тенденции. По-другому себя ведет онгудайский климатип, имеющий самый низкий показатель по высоте, но не отличающийся по длине кроны от остальных представителей средней группы. Медианная доля кроны относительно высоты у него составляет 31%. Обратную связь между высотой и длиной кроны можно наблюдать на примере мотыгинского климатипа. По высоте он относится к группе с наибольшими показателями, а по длине кроны – с низкими, значимо ($p < 0,05$) уступая представителям л. Гмелина – зейскому и чернышевскому, у которых медианная доля кроны составляет 38 (самое большое значение) и 32% соответственно. Из представителей л. сибирской самые высокие показатели доли кроны отмечены для туранского (35%) и шагонарского (37%) климатипов. Таким образом, самый северный климатип (мотыгинский) из южной тайги, представляющий л. сибирскую в пункте испытания, имеет меньшую долю кроны, по сравнению с климатипами, представляющими л. Гмелина, при схожих показателях высоты деревьев. В.П. Макаровым [1] при сравнении протяженности кроны

относительно ствола у л. сибирской и л. Гмелина в географических культурах получены другие результаты. Так, доля кроны у представителей л. сибирской (77–98%) в нескольких случаях может быть выше по сравнению с л. Гмелина (67–77%). Поэтому однозначные различия между разными видами лиственницы по доле кроны относительно высоты ствола нельзя четко обозначить, но можно фиксировать отдельные различия, которые зависят от возраста деревьев (если сравнивать разные объекты в разном возрасте), условий их произрастания и конкретного набора тестируемых климатипов.

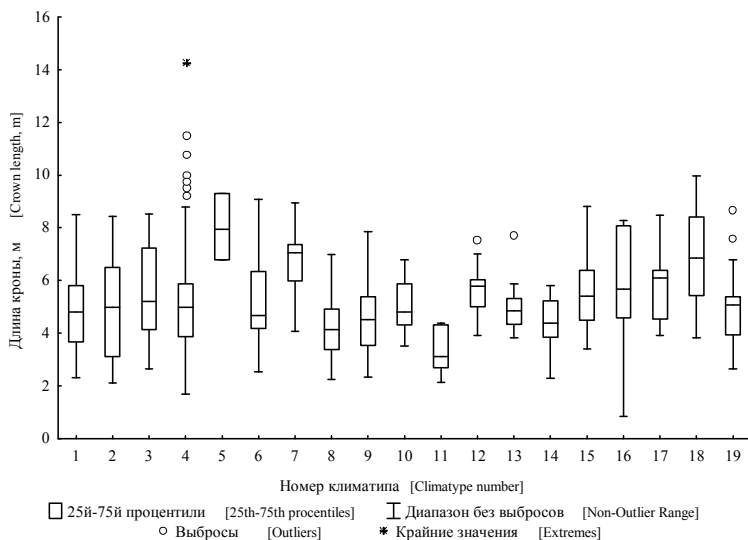


Рис. 4. Диаграммы размаха с медианами (горизонтальные линии) по длине кроны деревьев (с диаметрами 121–160 см)

[Fig. 4. Box-and-whisker diagrams of tree crown length with medians (horizontal lines) for trees with diameters 121–160 cm. On the X-axis - Climatype number; on the Y-axis – Crown length, m]

Только по длине кроны выявлены значимые различия между выборками, представляющими разные виды лиственницы, сравниваемые в работе. Лиственница Гмелина отличается значимо большим размером длины кроны от л. сибирской ($p < 0,001$) и л. японской ($p < 0,05$). Влияние видовых различий на размеры кроны подтверждается в исследованиях, посвященных аллометрии архитектурных признаков деревьев разных видов в связи с конкуренцией между деревьями и устойчивостью к ветровой нагрузке [26].

Выводы

1. В условиях одинакового экологического фона географических культур выявлены различия между климатическими экотипами разных видов лиственниц по высоте деревьев и протяженности кроны по стволу. Дифференциация лиственниц обусловлена генетическими особенностями климатических экотипов, сформированными под действием экологических факторов

в местах происхождения, и разной реакцией на внешнюю среду в пункте эксперимента.

2. Климатипы лиственницы сибирской, представляющие по происхождению самые горные территории, характеризующиеся различными стрессовыми факторами, в том числе дефицитом увлажнения и бедными почвенными условиями, имеют низкие показатели высоты дерева и длины кроны.

3. Потомство лиственницы сибирской из благоприятных мест происхождения, приуроченных к котловинам юга Сибири, а также из бассейнов рек Бирюсы и Чуны в пределах Предсаянской провинции, а также представители лиственниц даурской и Чекановского из Читинской области обладают стабильно высокими показателями высоты деревьев и длины кроны в условиях географических культур.

4. Значимые различия между климатипами по высоте не всегда определяют наличие различий по длине кроны между ними, так как этот признак имеет свою отдельную стратегию развития, генетически связанную с условиями места происхождения. Самую короткую крону имеет высокогорный климатип с наименьшим гидротермическим коэффициентом в пункте происхождения. Высокие показатели длины кроны выявлены у климатипов лиственницы сибирской из котловин юга Сибири, а также представителя лиственницы даурской из Амурской области. Самый северный климатип (мотыгинский) из южной тайги, несмотря на высокие показатели по высоте, уступает представителям лиственницы даурской по длине кроны.

Авторы благодарны за помощь в организации и проведении полевых работ Владимиру Калашиникову (начальнику отдела ГИЛ филиала «ВОСТСИБЛЕСПРОЕКТ» ФГБУ «Рослесинфорг») и Яне Семенюк за помощь в обработке ГИС данных инвентаризации в рамках ее выпускной квалификационной работы в Сибирском федеральном университете.

Литература

1. Макаров В.П. Изменчивость морфологических видов и климатипов лиственницы в географических культурах (Восточное Забайкалье) // Лесоведение. 2005. № 4. С. 67–75.
2. Бобринев В.П., Пак Л.Н. Рост 30-летних географических культур в Читинской области // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2007. № 6. С. 38–42.
3. Ирошников А.И. Географические культуры хвойных в Южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири / отв. ред. Е.Г. Минина, А.И. Ирошников. Новосибирск : Наука, 1977. С. 4–110.
4. Барченков А.П. Изменчивость лиственницы в географических культурах в Красноярской лесостепи // Лесное хозяйство. 2011. № 1. С. 25–27.
5. Ермолаева М.В. Особенности роста и сохранности географических культур лиственницы в Удмуртской Республике // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 4. С. 11–14.
6. Галдина Т.Е., Токорева М.О. Современное состояние географических культур лиственницы в центральной лесостепи // Лесотехнический журнал. 2012. № 1 (5). С. 95–99.

7. Мельник П.Г., Мерзленко М.Д., Лобова С.Л. Результат выращивания климатипов лиственницы в географических культурах северо-восточного Подмосквья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (136). С. 62–67.
8. Глазунов Ю.Б., Мерзленко М.Д., Лобова С.Л. Результат 60-летнего опыта уникальных географических посадок лиственницы // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 8 (169). С. 44–48.
9. Fedorkov A. Variation in the leader shoot elongation patterns in *Larix* species and provenances in the north-west of Russia // Baltic Forestry. 2012. Vol. 18, № 1. PP. 119–124.
10. Abaimov A.P., Barzut V.M., Berkutenko A.N., Buitink J., Martinsson O., Milyutin L.I., Polezhaev A., Putenikhin V.P., Takata K. Seed collection and seed quality of *Larix* ssp. from Russia: initial phase on the Russian-Scandinavian larch project // Eurasian Journal of Forest Research. 2002. № 4. PP. 39–49.
11. Karlman L., Fries A., Martinsson O., Westin J. Juvenile growth of provenances and open pollinated families of four Russian larch species (*Larix* Mill.) in Swedish field tests // Silvae Genetica. 2011. Vol. 60, № 5. PP. 165–177. doi: [10.1515/sg-2011-0023](https://doi.org/10.1515/sg-2011-0023)
12. Eysteinnsson T., Karlman L., Fries A., Martinsson O., Skúlason B. Variation in spring and autumn frost tolerance among provenances of Russian larches (*Larix* Mill.) // Scandinavian Journal of Forest Research. 2009. Vol. 24, № 2. PP. 100–110. doi: [10.1080/02827580902773470](https://doi.org/10.1080/02827580902773470)
13. Lukkarinen A.J., Ruotsalainen S., Peltola H., Nikkanen T. Annual growth rhythm of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* provenances in a field trial in southern Finland // Scandinavian Journal of Forest Research. 2013. Vol. 28, № 6. PP. 518–532. doi: [10.1080/02827581.2013.786125](https://doi.org/10.1080/02827581.2013.786125)
14. Lukkarinen A.J., Ruotsalainen S., Peltola H., Nikkanen T. Bud set and autumn coloration of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* provenances in a field trial in southern Finland // Scandinavian Journal of Forest Research. 2014. Vol. 29, № 1. PP. 27–40. doi: [10.1080/02827581.2013.853827](https://doi.org/10.1080/02827581.2013.853827)
15. Foff V., Weiser F., Foffová E., Gömöry D. Growth response of European larch (*Larix decidua* Mill.) populations to climate transfer // Silvae Genetica. 2014. Vol. 63, № 1–2. PP. 67–75. doi: [10.1515/sg-2014-0010](https://doi.org/10.1515/sg-2014-0010)
16. Nagamitsu T., Matsuzaki T., Nagasaka K. Provenance variations in stem productivity of 30-year-old Japanese larch trees planted in northern and central Japan are associated with climatic conditions in the provenances // Journal of Forest Research. 2018. Vol. 23, Iss. 5. PP. 270–278. doi: [10.1080/13416979.2018.1490520](https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1490520)
17. Fowler D.P., Simpson J.D., Park Y.S., Schneider M.H. Yield and wood properties of 25-year-old Japanese larch of different provenance in eastern Canada // The Forestry Chronicle. 1988. Vol. 64, № 6. PP. 475–479. doi: [10.5558/tfc64475-6](https://doi.org/10.5558/tfc64475-6)
18. Maass D.I., Irland L.C., Anderson III J.L., Laustsen K.M., Greenwood M.S., Roth B.E. Reassessing potential for exotic larch in northern United States // Journal of Forestry. 2020. Vol. 118, Iss. 2. PP. 124–138. doi: [10.1093/jofore/fvz066](https://doi.org/10.1093/jofore/fvz066)
19. Орешкова Н.В. Генетическая дифференциация лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 1–2. С. 147–153.
20. Муратова Е.Н., Карпюк Т.В., Владимирова О.С., Сизых О.А., Квитко О.В. Цитологическое изучение лиственницы сибирской в антропогенно нарушенных районах г. Красноярск и его окрестностей // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2009. № 9. С. 99–108.
21. Молотков П.И., Патлай И.Н., Давыдова Н.И., Щепотьев Ф.Л., Ирошников А.И., Мосин В.И., Пирагс Д.М., Милютин Л.И. Селекция лесных пород. М. : Лесная промышленность, 1982. 224 с.

22. Букша И.Ф., Букша М.И. Применение мобильной ГИС-технологии Field-Map в лесном и садово-парковом хозяйстве // Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Т. 23, № 5. С. 8–9.
23. Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М. Сравнение трех и более независимых групп с использованием непараметрического критерия Краскела – Уоллиса в программе STATA // Экология человека. 2014. № 6. С. 55–58.
24. Рысин Л.П. Лиственничные леса России. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 343 с.
25. Pazdrowski W., Jelonek T., Tomczak A., Stypula I., Splawa-Neyman S. Proportion of sapwood and heartwood and selected biometric features in larch trees (*Larix decidua* Mill.) // Wood research. 2007. Vol. 52, № 4. PP. 1–16.
26. MacFarlane D.W., Kane B. Neighbour effects on tree architecture: functional trade-offs balancing crown competitiveness with wind resistance // Functional ecology. 2017. Vol. 31, Iss. 8. PP. 1624–1636. doi: 10.1111/1365-2435.12865

Поступила в редакцию 20.10.2020 г.; повторно 02.09.2021 г.;
принята 25.11.2021 г.; опубликована 29.12.2021 г.

Авторский коллектив:

Кузьмин Сергей Рудольфович, канд. с.-х. наук, с.н.с. лаборатории лесной генетики и селекции, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН (Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28); с.н.с. лаборатории биогеохимии экосистем, Институт экологии и географии, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5391-6536>

E-mail: skr_7@mail.ru; srkuzmin@sfu-kras.ru

Рубцов Алексей Васильевич, канд. техн. наук, с.н.с. лаборатории биогеохимии экосистем и лаборатории комплексных исследований динамики лесов Евразии, Институт экологии и географии, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9663-4344>

E-mail: arubtsov@sfu-kras.ru

Барченков Алексей Павлович, канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории лесной генетики и селекции, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН (Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28); с.н.с. лаборатории биогеохимии экосистем, Институт экологии и географии, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3964-480X>

E-mail: alexbarchenkov@mail.ru

Карпюк Татьяна Викторовна, канд. биол. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники, Институт агроэкологических технологий, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» (Россия, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3831-7842>

E-mail: tkarpyuk@yandex.ru

For citation: Kuzmin SR, Rubtsov AV, Barchenkov AP, Karpyuk TV. Differentiation of larch (*Larix* spp.) climatotypes in the Central Siberian forest-steppe provenance trial. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2021;56:170-188. doi: 10.17223/19988591/56/8

Sergey R. Kuzmin^{1,2}, Alexey V. Rubtsov², Alexey P. Barchenkov^{1,2}, Tatyana V. Karpyuk³

¹Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

³Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation

Differentiation of larch (*Larix* spp.) climatypes in the Central Siberian forest-steppe provenance trial

Forest conservation is one of the main problems in world forestry. Numerous forest fires and widespread fungal pathogens and pests have led to a significant decline in forest areas and biodiversity and the disappearance of valuable populations. The problem of forest conservation and regeneration became especially relevant at the beginning of this century because of increasing wood harvesting. In this case, genetic collections of woody species, including provenance trials, established at different times play an important role in gene pool conservation of the main coniferous species – the forest-forming species in Russia – and in basic and applied problems in the context of climate change and the growing conditions in biogeocoenoses. The special interest in larch research is associated with a wide range of factors, such as inter- and intraspecific differentiation, capability to adapt to stressful growth conditions and the ability to successfully transfer seeds over large distances for creation of plantations with special purposes. The aim of this study was to assess inter- and intraspecific differences in height growth, crown area and length using the example of future generations of different larch species representing different provenances in the provenance trial.

We obtained material for this study, located in the provenance trial research plot ‘Pogorelsky bor’ (56°22'06"N, 92°57'23"E) in the forest-steppe of Krasnoyarsk krai, in 2016. Live larch trees in the provenance trial were inventoried using the GIS complex ‘Field-Map’. The total number of inventoried trees was 1674. Nineteen provenances (climatic ecotypes) of various larch species (See Table and Fig. 1) were chosen for comparative analysis of height, crown area and crown length using a nonparametric method - the Kruskal-Wallis ANOVA test and Median test. The crown proportion of tree stems was assessed using median values. Trees with a diameter similar to that of the main sample (121-160 mm; 412 trees) and an alternative sample of trees with a wider diameter (181-220 mm; 291 trees) were chosen for comparative analysis. Such an approach enabled the assessment of different biometric traits of trees while accounting for diameter and similar growth conditions at the trial site. The number of trees in the main sample was 3 and 148 in the two provenances, whereas it ranged from 6 to 48 in the rest of the provenances.

In this study, tree height (See Fig. 2) and tree crown length (See Fig. 4) differed between climatic ecotypes of different larch species in the forest-steppe provenance trial of the south Krasnoyarsk region. These differences were related to the origin of the climatypes. We found that larch climatypes from mountain regions showed lower tree height and crown length. We also found that descendants of larch that originated in climatically favourable areas or those connected to the hollows of southern Siberia and the Biryusa and Chuna river basins within the Pre-Sayan province, as well as representatives of the Dahurian larch (*Larix gmelinii* Rupr.) and Chekanowskii larch (*L. czekanowskii* Szafer) from Chita Oblast, had greater tree height and tree crown length in the provenance trial (See Fig. 2 and 4). Therefore, the exploitation of these provenances for reforestation of the Krasnoyarsk forest-steppe may be reasonable and rational. Although the results obtained for 10-year-old trees (Iroshnikov, 1977)

indicated that the height growth of the Petrovsk-Zabaikalski climatype (Chekanowskii larch) was lower than that of the Siberian and Dahurian larches, by the age of 50 years, it achieved a similar diameter and may be regarded as equal in height growth to the majority of representatives of the latter two larches in the forest-steppe zone. Comparative analysis of samples with different diameters showed that, in general, climatotypes were in the same tree height groups (See Fig. 1). Our results show that significant differences in tree height between climatotypes are not an obligatory condition for differences in crown length. Tree crown length has its own separate developmental strategy, which is genetically associated with the environmental conditions of the place of origin. The climatype from the highlands with the lowest hydrothermal coefficient of place of origin (the Tes-Khem climatype from Tyva) had the shortest crown length. The ratio of crown to full stem length of the Tes-Khem climatype was 18%. High crown lengths were found for larch climatotypes from the hollows of southern Siberia and for representatives of the Dahurian larch from Amur Oblast (the Zeya climatype). The northernmost climatype from the southern taiga (the Motygino climatype, Angara river basin) had a crown length lower than that of the representatives of the Dahurian larch. The crown length proportion of the Zeya climatype (38%, the highest median value of the samples compared) was 14% higher than that of the Motygino climatype (24%). Differences in crown proportion of more than 5%–10% were observed between a few larch climatotypes. In general, natural differences between species could not be defined. In this study, significant differences between samples representing different larch species were only found for crown length. The Gmelin larch had a significantly higher crown length than the Siberian ($p < 0.001$) and Japanese ($p < 0.05$) larches. In contrast to the other traits studied, crown area did not significantly influence the difference between climatotypes. The reasons for the absence of significant differences were the high variability of this trait in the majority of climatotypes and the presence of extremes in some samples (See Fig. 3).

The paper contains 4 Figures, 1 Table, and 26 References.

Key words: *Larix*; climate; adaptation; tree stem diameter; tree height; tree crown.

Funding: This research was carried out under partial financial support of RSF (Grant No 18-7410048), RFBR (Grant No 20-05-00540) and Sukachev IF SB RAS base Project (No 0356-2019-0024).

Acknowledgements: The authors are grateful to Vladimir Kalashnikov (Head of the State Forest Inventory Department of “VOSTSIBLESPROJECT” branch of FSB D “ROSLESINFORG”) for his assistance in management and performance of the field work, and to Yana Semenuk for her contribution in the inventory data processing during the preparation of her bachelor thesis at Siberian Federal University.

The Authors declare no conflict of interest.

References

1. Makarov VP. Variability of larch morphological species and climatotypes in provenances (Eastern Transbaikalian region). *Lesovedenie*. 2005;4:67-75. In Russian, English Summary
2. Bobrinev VP, Pak LN. The growing 30-year old geographical cultures of the larch in Chita area. *Lesnoy vestnik*. 2007; 6:38-42. In Russian, English Summary
3. Iroshnikov AI. Geograficheskie kul'tury khvoynykh v Yuzhnoy Sibiri [Provenance trials of conifers in southern Siberia]. In: *Geograficheskie kul'tury i plantatsii khvoynykh v Sibiri* [Provenance trials and plantations of conifers in Siberia]. Minina EG and Iroshnikov AI, editors. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1977. pp. 4-110. In Russian
4. Barchenkov AP. Izmenchivost' listvennitsy v geograficheskikh kul'turakh v Krasnoyarskoy lesostepi [Variability of larch in the provenance trial in Krasnoyarsk forest-steppe]. *Lesnoe*

- khozyaystvo*. 2011;1:25-27. In Russian
5. Ermolaeva MV. Osobennosti rosta i sokhrannosti geograficheskikh kul'tur listvennitsy v Udmurtskoy Respublike [Features of growth and survival of the provenance trial of larch in central forest-steppe. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2010;4:11-14. In Russian
 6. Galdina TE, Tokoreva MO. The present state of geographical cultures of larch in central forest-steppe. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2012;1(5):95-99. In Russian, English Summary
 7. Melnik PG, Merzlenko MD, Lobova SL. The results of growing larch climatic types in the provenance trial plantations in the north-east of the Moscow region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016;2(136):62-67. In Russian, English Summary
 8. Glazunov YuB, Merzlenko MD, Lobova SL. Results of the 60-years experience of unique geographical larch plantings. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017;8(169):44-48. In Russian, English Summary
 9. Fedorkov A. Variation in the leader shoot elongation patterns in *Larix* species and provenances in the north-west of Russia. *Baltic Forestry*. 2012;18(1):119-124.
 10. Abaimov AP, Barzut VM, Berkutenko AN, Buitink J, Martinsson O, Milyutin LI, Polezhaev A, Putenikhin VP, Takata K. Seed collection and seed quality of *Larix* spp. from Russia: initial phase on the Russian-Scandinavian larch project. *Eurasian Journal of Forest Research*. 2002;4:39-49.
 11. Karlman L, Fries A, Martinsson O, Westin J. Juvenile growth of provenances and open pollinated families of four Russian larch species (*Larix* Mill.) in Swedish field tests. *Silvae Genetica*. 2011;60(5):165-177. doi: [10.1515/sg-2011-0023](https://doi.org/10.1515/sg-2011-0023)
 12. Eysteinnsson T, Karlman L, Fries A, Martinsson O, Skúlason B. Variation in spring and autumn frost tolerance among provenances of Russian larches (*Larix* Mill.). *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2009;24(2):100-110. doi: [10.1080/02827580902773470](https://doi.org/10.1080/02827580902773470)
 13. Lukkarinen AJ, Ruotsalainen S, Peltola H, Nikkanen T. Annual growth rhythm of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* provenances in a field trial in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2013;28(6):518-532. doi: [10.1080/02827581.2013.786125](https://doi.org/10.1080/02827581.2013.786125)
 14. Lukkarinen AJ, Ruotsalainen S, Peltola H, Nikkanen T. Bud set and autumn coloration of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* provenances in a field trial in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2014;29(1):27-40. doi: [10.1080/02827581.2013.853827](https://doi.org/10.1080/02827581.2013.853827)
 15. Foff V, Weiser F, Foffová E, Gömöry D. Growth response of European larch (*Larix decidua* Mill.) populations to climate transfer. *Silvae Genetica*. 2014;63(1-2):67-75. doi: [10.1515/sg-2014-0010](https://doi.org/10.1515/sg-2014-0010)
 16. Nagamitsu T, Matsuzaki T, Nagasaka K. Provenance variations in stem productivity of 30-year-old Japanese larch trees planted in northern and central Japan are associated with climatic conditions in the provenances. *Journal of Forest Research*. 2018;23(5):270-278. doi: [10.1080/13416979.2018.1490520](https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1490520)
 17. Fowler DP, Simpson JD, Park YS, Schneider MH. Yield and wood properties of 25-year-old Japanese larch of different provenance in eastern Canada. *The Forestry Chronicle*. 1988;64(6):475-479. doi: [10.5558/tfc64475-6](https://doi.org/10.5558/tfc64475-6)
 18. Maass DI, Irland LC, Anderson III JL, Laustsen KM, Greenwood MS, Roth BE. Reassessing potential for exotic larch in northern United States. *Journal of Forestry*. 2020;118(2):124-138. doi: [10.1093/jofore/fvz066](https://doi.org/10.1093/jofore/fvz066)
 19. Oreshkova NV. Genetic differentiation of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in Middle Siberia. *Khvoynye boreal'noy zony*. 2010;27(1-2):147-153. In Russian, English Summary
 20. Muratova YeN, Karpuk TV, Vladimirova OS, Sizyk OA, Kvitko OV. A cytological study of Siberian larch in anthropogenically disturbed areas of the city of Krasnoyarsk and its vicinity. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*. 2009;9:99-108. In Russian, English Summary

21. Molotkov PI, Patlay IN, Davydova NI, Shchepot'ev FL, Iroshnikov AI, Mosin VI, Pirags DM, Milyutin LI. Seleksiya lesnykh porod [Breeding of forest species]. Moscow: "Lesnaya promyshlennost'" Publ.; 1982. 224 p. In Russian
22. Buksha IF, Buksha MI. Usage of mobile GIS-technology Field-Map in forestry and landscape gardening. *Naukoviy visnik NLTU Ukraini*. 2013;23(5):28-34. In Russian, English Summary
23. Unguryanu TN, Grijbovski AM. Analysis of three independent groups using non-parametric Kruskal-Wallis test in STATA software. *Ekologiya cheloveka = (Human Ecology)*. 2014;6:55-58. In Russian, English Summary
24. Rysin LP. Listvennichnye lesa Rossii [Larch forests of Russia]. Moscow: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ.; 2010. 343 p. In Russian
25. Pazdrowski W, Jelonek T, Tomczak A, Stypula I, Splawa-Neyman S. Proportion of sapwood and heartwood and selected biometric features in larch trees (*Larix decidua* Mill.). *Wood Research*. 2007;52(4):1-16.
26. MacFarlane DW, Kane B. Neighbour effects on tree architecture: functional trade-offs balancing crown competitiveness with wind resistance. *Functional Ecology*. 2017;31(8):1624-1636. doi: [10.1111/1365-2435.12865](https://doi.org/10.1111/1365-2435.12865)

*Received 20 October, 2020; Revised 02 September, 2021;
Accepted 25 November, 2021; Published 29 December, 2021.*

Author info:

Kuzmin Sergey R, Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Laboratory of Forest Genetics and Breeding, Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center, Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50/28 Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation; Senior Researcher, Ecosystem Biogeochemistry Laboratory, Ecology and Geography Institute, Siberian Federal University, 79 Svobodny Pr., Krasnoyarsk 660041, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5391-6536>

E-mail: skr_7@mail.ru; srkuzmin@sfu-kras.ru

Rubtsov Alexey V, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Ecosystem Biogeochemistry Laboratory and Laboratory for Complex Studies of Forest Dynamics in Eurasia, Ecology and Geography Institute, Siberian Federal University, 79 Svobodny Pr., Krasnoyarsk 660041, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9663-4344>

E-mail: arubtsov@sfu-kras.ru

Barchenkov Alexey P, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Forest Genetics and Breeding, Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center, Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50/28 Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation; Senior Researcher, Ecosystem Biogeochemistry Laboratory, Ecology and Geography Institute, Siberian Federal University, 79 Svobodny Pr., Krasnoyarsk 660041, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3964-480X>

E-mail: alexbarchenkov@mail.ru

Karpyuk Tatyana V, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Landscape Architecture and Botany Department, Institute of Agro-Ecological Technologies, Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira Pr., Krasnoyarsk 660049, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3831-7842>

E-mail: tkarpyuk@yandex.ru