

Научная статья

УДК 582.475: 581.522.4: 581.6

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.46>

EDN: LEBDJG

Влияние поздних весенних заморозков на репродукцию четырёх видов пятихвойных сосен при их выращивании в условиях юга лесной зоны Западной Сибири

А. Г. Попов

Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук,
Российская Федерация, 634055, Томск, пр. Академический, 10/3
popovaleksa@yandex.ru

Аннотация. *Введение.* Из теории интродукции известно, что для полной акклиматизации вида в новых местообитаниях необходимыми условиями являются его устойчивость и воспроизводимость. Наиболее важным фактором, приводящим к гибели урожая у лесных древесных видов в условиях юга лесной зоны Западной Сибири, являются поздние весенние заморозки. Например, для ценного местного вида сосны сибирской *P. sibirica* периодичность урожая напрямую зависит от влияния поздних весенних заморозков на его генеративные органы. Подобные научные исследования на интродукционных объектах экзотических видов пятихвойных сосен в данном регионе до настоящего времени не проводились, поэтому *целью* настоящей работы стала оценка влияния поздних весенних заморозков на репродуктивные органы четырёх видов пятихвойных экзотов при их интродукции вегетативным способом в условиях подтаёжных лесов и лесной зоны южной тайги Западной Сибири. *Методы.* Привои производили на четырёхлетний подвой *P. sibirica* с размещением деревьев 3×6 м в девяти повторностях. Исследования проводили в течение семи лет после вступления привоев в генеративную фазу онтогенеза. Оценка повреждаемости шишек от весенних заморозков проводили в связи со следующими показателями: средняя суточная сумма эффективных температур, дата последнего заморозка, сумма эффективных температур перед последним заморозком, температура последнего заморозка и число дней с $T > 5^{\circ}\text{C}$ перед последним заморозком. *Результаты.* Виды по срокам пика пыления и рецептивных фаз шишек расположились в порядке накопления необходимой суммы температур в зависимости от условий их естественного происхождения: субарктическо-субальпийский *P. pumila*, горно-таёжный *P. cembra*, неморальный *P. koraiensis*, муссонные области умеренного и субтропического пояса *P. strobus*. Выяснилось, что вероятность сохранения и устойчивость репродуктивных органов у пятихвойных экзотов сосен выше в том случае, если последний весенний заморозок в сочетании с низкой накопленной суммой эффективных температур, а также относительно небольшим числом дней с $T > 5^{\circ}\text{C}$ перед последним заморозком происходил раньше в мае. *Выводы.* Виды *P. cembra* и *P. strobus* устойчивы к заморозкам, а *P. pumila* и *P. koraiensis* менее устойчивы, причём диапазон устойчивости генеративных структур у последнего вида был шире. Основная причина связана со сроками развития шишек. Наименьшие негативные влияния от весенних заморозков у *P. pumila* продемонстрировали западный континентальный и неморальный экотипы, а у *P. koraiensis* – экотипы из северной части его естественного ареала. Именно эти экотипы рекомендуется использовать в данном районе интродукции для работ по их полной акклиматизации и дальнейшего внедрения в лесное хозяйство и озеленение.

Ключевые слова: интродукция; вегетативное потомство; пик пыления; рецептивные фазы; устойчивость и повреждаемость генеративных органов; перспективность видов и экотипов

Финансирование: работа выполнена в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН.

Для цитирования: Попов А. Г. Влияние поздних весенних заморозков на репродукцию четырёх видов пятихвойных сосен при их выращивании в условиях юга лесной зоны Западной Сибири // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2025. № 1 (65). С. 46–60. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.46>; EDN: LEBDJG

Введение

Виды из семейства *Pinaceae* Lindl. являются основными лесообразователями, поэтому важно их разностороннее исследование, в том числе изучение устойчивости и воспроизводимости при выращивании за пределами естественных ареалов для различных целей интродукции. Оценивая перспективность растений при интродукции в регионы с отличающимися климатическими условиями, одним из важнейших факторов является их способность к репродукции в данной местности [1]. В условиях Западной Сибири самым чувствительным периодом, когда погодные условия могут повлиять на репродуктивную способность сосен, считается время дифференциации мужских и женских гаметофитов (май–начало июня) [2]. Именно в этот период на юге региона наблюдаются неустойчивые атмосферные условия с высокой вероятностью возникновения погодных экстремумов, в частности, приводящих к возникновению поздних весенних заморозков [3], которые увеличивают риск их повреждения [4]. Так, например, было показано, что наибольшее климатическое влияние на генеративную сферу местного пятихвойного вида сосен – кедра сибирского (*P. sibirica* Du Tour) в условиях юга лесной зоны Западной Сибири оказывают поздние весенние заморозки в год «цветения» и опыления [4, 5], при этом кроме даты заморозка имеет значение накопленная к этому времени сумма эффективных температур и температура заморозка [4, 6]. Хотя это не единственный фактор, который может вызывать гибель шишек, он всё же является наиболее критическим (лимитирующим) для урожая. Разумеется, это природное явление должно влиять и на репродуктивные способности пятихвойных экзотов, выращиваемых в данных условиях для целей более широкого их внедрения в лесное хозяйство. В настоящее время во многих регионах севера России ведутся научные работы по введению в местную культуру пятихвойных экзотических видов сосен, получены значительные результаты по устойчивости [7–9], даны

методические рекомендации [10, 11], в том числе по видовому ассортименту [7, 12, 13]. К сожалению, некоторые авторы и вовсе не привязывают результаты своих исследований к лимитирующим климатическим факторам региона и недостаточно обсуждают причины наблюдаемых явлений. В настоящей работе делается попытка анализа результатов исследования с учётом основных лимитирующих факторов среды района интродукции.

Так как устойчивость вегетативной сферы у некоторых пятихвойных сосен нами была рассмотрена ранее [14–16], поэтому **целью** настоящей работы стала оценка влияния поздних весенних заморозков на репродуктивные органы четырёх видов пятихвойных экзотов при их интродукции вегетативным способом в условиях подтаёжных лесов и лесной зоны южной тайги Западной Сибири.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили экотипы четырёх видов пятихвойных экзотов сосен (рис. 1):

1. Кедр европейский, *P. cembra* L., распространён в верхней трети горно-таёжного пояса Альп и Карпат в зоне широколиственных лесов. Площадь распространения 80 тыс. км² [17].

2. Сосна веймутова, *P. strobus* L., растёт в северо-восточных районах Северной Америки в муссонных областях умеренного и субтропического пояса. Площадь распространения 1,8 млн. км² [17].

3. Кедровый стланик, *P. pumila* (Pall.) Regel, преимущественно субарктический и субальпийский вид с обширным ареалом в Северной и Восточной Азии от Байкала до Чукотки и от низовьев Лены до центральной части о. Хонсю. Площадь распространения 6 млн. км² [17].

4. Кедр корейский, *P. koraiensis* Sieb. et Zucc., неморальный вид из Маньчжурии, Приамурья и Приморья России, северо-восточных областей Китая, Корейского полуострова и горных районов Японских островов. Площадь распространения 600 тыс. км² [17].



Рис. 1. Распространение интродуцированных видов и районы происхождения вегетативного потомства. Зелёным цветом указано распространение сосен в северном полушарии Земли
 Fig. 1. Distribution of introduction species and regions of origin of the vegetative progeny.
 Distribution of pines in the Northern Hemisphere is marked in green

Пятихвойные экзоты сосен представляли собой вегетативное потомство, произрастающее на плантации Научного стационара «Кедр» Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (30 км к югу от г. Томска, юго-восток Западно-Сибирской равнины, крайний юг таёжной зоны, $56^{\circ}13'$ с. ш., $84^{\circ}51'$ в. д., 78 м н. ур. м.) с размещением деревьев 3×6 м в девяти повторностях (блоках). Черенки для каждого вида были заготовлены с 15–20-ти 100–180-летних случайно отобранных деревьев в каждом районе исследования, за исключением *P. strobus*, по которой данная информация отсутствовала. Привои производили на четырёхлетний подвой *P. sibirica* в 1997 году. К концу периода исследования возраст вегетативного потомства достиг 15-ти лет. Характеристика мест произрастания маточных деревьев вегетативного потомства представлена в табл. 1. Виды *P. cembra* и *P. strobus* содержали по одному экотипу, *P. pumila* был представлен пятью экотипами, *P. koraiensis* – шестью. Каждый экотип состоял из 2–13 клонов, которые были представлены 2–8 «цветущими» раметами. Малая представленность раметами некоторых клонов *P. strobus*, *P. koraiensis* и *P. pumila* объясняется пониженной устойчивостью вегетативной сферы небольшого числа экотипов этих видов к суровым условиям юга Западной Сибири, так как климат данного района интродукции переходный от умеренно влажного, мягкого климата Европейской части России к резко континентальному климату Восточной Сибири [18]. Почва района исследования тёмно-серая лесная, супесчаная.

В течение семилетнего периода наблюдений для оценки репродуктивных

способностей учитывали число плодоносящих привоев у всех видов, на которых подсчитывали среднее число мужских побегов и женских шишек (озими) в начале сезона их появления до периода пика пыления мужских и рецептивной фазы женских шишек. Отмечали наилучшие по устойчивости и продуктивности экотипы с максимальным числом репродуктивных органов в год их появления. Сроки пика пыления у мужских и рецептивных фаз у женских шишек указывали по методике Е. В. Титова [19] и И. А. Забелина [20]. Долю «цветущих» клонов у экотипов представляли от всех «цветущих» клонов вида за весь период наблюдения. Клон считался «цветущим», если хотя бы одна из его рамет имела репродуктивные структуры. Повреждаемость генеративных органов оценивали долей женских шишек и мужских побегов, претерпевших негативные последствия в результате влияния поздних весенних заморозков, от числа заложившихся женских шишек и мужских побегов. Информацию о погодных условиях использовали по данным станции Томск Росгидромета, находящейся в 20 км восточнее плантации (табл. 2). По средним суточным температурам высчитывали сумму эффективных температур перед последним заморозком и в момент пыления мужских и рецептивных фаз женских шишек. Этот показатель рассчитывался как нарастающая сумма положительных температур с минимальным значением $+5^{\circ}\text{C}$. Также в течение периода мониторинга использовали данные о дате и температуре последнего весеннего заморозка и числе дней с $T > 5^{\circ}\text{C}$ перед последним заморозком.

Таблица 1. Характеристика мест произрастания маточных деревьев вегетативного потомства
Table 1. Characteristics of the growth areas of parent trees of vegetative progeny

Вид	Географическое местоположение экотипа	Природная зона, высотный пояс	Широта, с. ш.	Долгота, в. д.	Высота н. ур. м., м
Кедр европейский	Южная часть провинции Брешиа, Италия, южный макросклон Альп	Верхняя часть лесного пояса	46°10'	10°30'	1800
Сосна веймутова	Ботанический сад Ботанического института РАН (г. Санкт-Петербург)	—	—	—	—
Кедровый стланик	№ 1. Иркутская обл., долина р. Слюдянка, крутой северо-западный склон хр. Хамар-Дабан	Нижняя часть лесного пояса (тёмнохвойные горно-таёжные леса)	51°30'	103°40'	900
	№ 2. Забайкальский край, южный склон Черомного хр., долина правого притока р. Могоча	Средняя часть лесного пояса (лиственничные горно-таёжные леса)	54°00'	119°55'	800
	№ 3. Хабаровский край, южный склон хр. Мяочан, долина р. Силинка, д. Горный	Нижняя часть лесного пояса (тёмнохвойные горно-таёжные леса)	50°45'	136°25'	600
	№ 4. Амурская обл., подножье Станового хр., вершина водораздела р. Сигикта и р. Гектан, г. Тында	Среднетаёжные светлехвойные (сосново-лиственничные) леса	55°15'	124°35'	600
	№ 5. Юг Якутии. Пологий северный склон долины р. Хани	Верхняя часть пояса лиственничных лесов	56°55'	121°05'	1000
Кедр корейский	№ 1. Северо-Восточный Китай, юг провинции Гирич, юго-западный пологий склон хребта вдоль р. Сунгари	Граница кедрово-широколиственного и кедрово-тёмнохвойного поясов	44°20'	128°25'	850
	№ 2. Китай. Юго-восток китайской провинции Хэйлуцзян. ЛСП.	Кедрово-широколиственные леса	44°	128°	—
	№ 3. Еврейская авт. обл., юго-восточный склон хр. Малый Хинган, пгт. Известковый	Низкогорные широколиственно-тёмнохвойные леса	49°05'	131°35'	500
	№ 4. Хабаровский край, южный склон хр. Мяочан, долина р. Силинка, д. Горный	Нижняя часть лесного пояса (тёмнохвойные горно-таёжные леса)	50°45'	136°25'	600
	№ 5. Хабаровский край, останец в пойме р. Амур (правобережье), с. Пивань	Широколиственно-тёмнохвойные подтаёжные леса	50°30'	137°10'	250
	№ 6. Хабаровский край, крайний север Сихотэ-Алиня подножье г. Шаман, с. Софийск	Нижняя часть пояса тёмнохвойных лесов	51°32'	140°03'	250

Таблица 2. Дата и температура последнего весеннего заморозка, сумма эффективных температур перед последним заморозком и число дней с $T > 5^{\circ}\text{C}$ перед последним заморозком в течение периода мониторинга

Table 2. The last frost date and temperature, the sum of effective temperatures before the last frost date, and the number of days with temperatures above $+5^{\circ}\text{C}$ before the last frost date during the monitoring period

Год	Дата последнего заморозка	Сумма эффективных температур перед последним заморозком	Температура последнего заморозка, $^{\circ}\text{C}$	Число дней с $T > 5^{\circ}\text{C}$ перед последним заморозком
2006	08 мая	5,80	-0,3	1
2007	31 мая	434,40	-1,1	43
2008	25 мая	310,60	-0,5	27
2009	27 мая	296,90	-0,9	32
2010	23 мая	170,20	-1,2	20
2011	18 мая	299,90	-0,9	29
2012	17 мая	219,00	-1,2	22

Результаты и их обсуждение

P. pumila являлся видом с наиболее ранним развитием генеративных органов (рис. 2) по причине накопления меньшего количества дней с эффективной температурой, необходимых для их развития, так как вид в естественных условиях обитания произрастает в самых суровых условиях. В среднем пик пыления мужских и рецептивные фазы женских шишек происходили в основном ближе к концу первой декады июня (9–13 июня) при средней сумме эффективных температур $529,4^{\circ}\text{C}$ (lim: 511,6–547,2). Появление генеративных органов начиналось с девятилетнего возраста привоев (табл. 3). В течение всего периода наблюдений шишки отсутствовали только в 2011 году. Наиболее

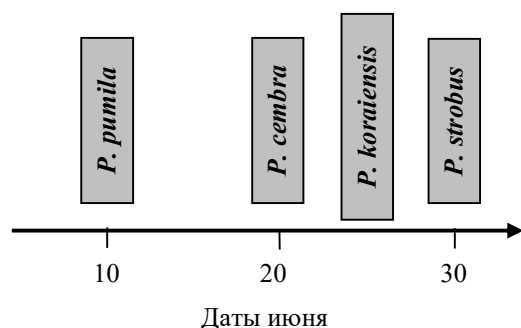


Рис. 2. Сроки пика пыления и рецептивных фаз у пятихвойных экзотов сосен

Fig. 2. The peak of pollen shedding and receptivity phases times in 5-needle exotic pine

репродуктивными оказались 2007 и 2012 гг. В данное время наблюдалось максимальное число привоев со средним количеством мужских побегов и большим числом женских шишек. Но в 2007 году весь урожай женских шишек и большое число мужских побегов пострадали от прошедшего в последний день мая заморозка.

По этой причине макростробилы темнели и становились мягкими на фазе тупых почек и кончиков не до конца вышедшей из почечных чешуй озимы (середина первой декады июня), которые в дальнейшем быстро усыхали и опадали. Микростробилы также повреждались как на внутрипочечной фазе, так и на фазах освободившихся от покровных чешуй почки частично и полностью дифференцированных шишек, и только в единичных случаях доживали до фазы пыления. Повреждения полностью отсутствовали только в течение двух лет (2010 и 2012 гг.) и были минимальными в 2008 году. Хотя в данные годы и была самая низкая температура последнего заморозка, которая по дате приходилась на конец второй–начало третьей декады мая, при сумме эффективных температур перед последним заморозком в 200°C , этого оказалось достаточно для выживания уже вполне сформировавшихся к этому времени шишек в почках. Тем не менее, по сравнению

со всеми исследованными видами, генеративная сфера *P. pumila* являлась наименее устойчивой и более чувствительной даже к небольшим весенним заморозкам, происходящим в начале мая при переходе температуры воздуха через 5 °С, когда, по мнению И. Н. Третьяковой [2], начинают возобновляться митотические деления в спорогенной ткани. Так, например,

показательным являлся первый год обнаружения абортивных мужских репродуктивных органов на привоях, когда они все повреждались минимальными весенними заморозками на десятую долю ниже нуля, но происходящими для этого вида в начальный период формирования шишек в почках после их заложения в прошлом году.

Таблица 3. Репродуктивные способности и устойчивость видов и их экотипов в условиях интродукции

Table 3. Reproductive capacity and resistance of species and their ecotypes in the introduction conditions

Вид	Экотип	Год	♂ lim	♀ lim	Число деревьев, шт. (%) ♀, ♂, ♂+♀	Повреждения, ♂, ♀, %
<i>P. pumila</i>	2	2006	$\frac{8,5 \pm 3,5}{6-11}$	–	$\frac{2 (100)}{–}$	♂ 100
	2, 3, 4	2007	$\frac{5 \pm 3,5}{1-10}$	$\frac{5,6 \pm 3,3}{1-13}$	$\frac{21}{16 (76), 9 (43), 5 (24)}$	♂ 84, ♀ 100
	1, 2, 4, 5	2008	мало	$\frac{2,6 \pm 1,5}{1-4}$	$\frac{7}{3 (43), 5 (71), 1 (14)}$	♂ 20, ♀ 5
	3	2009	мало	–	$\frac{1 (100)}{–}$	♂ 100
	2, 3	2010	–	$\frac{1,5 \pm 0,7}{1-2}$	$\frac{2 (100)}{–}$	–
	2, 3, 4	2012	средне	$\frac{6,7 \pm 5,8}{1-22}$	$\frac{19}{18 (95), 1 (5), 0}$	–
<i>P. koraiensis</i>	1, 2, 3, 4, 5	2006	$\frac{6 \pm 6,4}{1-31}$	1	$\frac{42}{1 (2), 41 (98), 0}$	♂ 14, ♀ –
	3, 4, 5	2007	$\frac{6,8 \pm 8,8}{1-42}$	–	$\frac{30 (100)}{–}$	♂ 100
	3, 5	2008	ед.–ср.	$\frac{2,1 \pm 1,4}{1-5}$	$\frac{29}{8 (28), 23 (79), 2 (7)}$	–
	3, 4, 5, 6	2009	мало	–	$\frac{17 (100)}{–}$	♂ 20
	1–6, 3, 5	2010	ед.–мало	$\frac{5,8 \pm 4,2}{1-15}$	$\frac{100}{35 (35), 92 (92), 27 (27)}$	–
	1, 3, 4, 5	2011	ед.	$\frac{3,6 \pm 2,4}{1-11}$	$\frac{39}{34 (87), 9 (23), 4 (10)}$	♂ –, ♀ 15
	1, 3, 4, 5	2012	много	$\frac{5 \pm 4,8}{1-26}$	$\frac{131}{63 (48), 117 (89), 49 (37)}$	–
<i>P. cembra</i>	1	2006	7	–	1 (100)	–
	1	2007	–	1	1 (100)	–
	1	2008	2	–	1 (100)	–
	1	2012	средне	–	1 (100)	–
<i>P. strobus</i>	1	2008	средне	–	1 (100)	–
	1	2012	много	–	1 (100)	–

Примечание: ♂ – среднее число мужских побегов (много – 11 и более, среднее – 6–10, мало – 3–5, единичные (ед.) – 1–2); ♀ – среднее число женских шишек; ♂+♀ – наличие мужского и женского цветения. Полужирным шрифтом отмечены экотипы с максимальным числом шишек.

Привои *P. pumila* в основном были двудомными с уклоном к женскому типу «цветения» (табл. 3). По сравнению с другими видами они характеризовались средним количеством закладываемых мужских побегов и большим средним числом женских шишек. Всего за весь период исследований репродуктивные органы были обнаружены на 24 клонах. Лучшими по продуктивности и устойчивости экотипами оказались западно-континентальный № 2 «Могоча» и неморальный № 3 «Горный», кроме того, первый раньше всех вступал в генеративную фазу онтогенеза. Данные экотипы в наиболее репродуктивные годы для вида характеризовались наличием большего числа «цветущих» клонов с максимальным числом репродуктивных органов (рис. 3). Далее по продуктивности выделялся восточно-континентальный экотип № 4 «Тында» с меньшим количеством «цветущих» клонов, на которых шишки закладывались в течение трёх лет из шести. Наименее продуктивными оказались экотипы южно-прибайкальский № 1 «Слюдянка» и континентальный № 5 «Хани» с небольшим количеством «цветущих» клонов, которые плодоносили лишь в 2008 году. Дифференциация экотипов по срокам пика пыления и рецептивных фаз была незначительной (1–2, редко 3 дня), все они имели возможность к переопылению. Направление различий было таковым, что экотипы из более холодных мест, перемещённые в

более тёплые условия района интродукции, «цвели» раньше, чем неморальный экотип № 3 происхождением из более тёплого умеренного муссонного климата.

У всех экотипов прослеживалась значимая связь повреждаемости генеративных органов с накопленными к моменту заморозка суммой эффективных температур, числом дней, которые накопились до даты последнего заморозка, и с датой последнего заморозка, либо с одним из них. Ни с какими другими факторами значимых корреляций обнаружено не было. Так, анализ дат последнего заморозка в год наблюдения и температурных показателей позволил сделать следующее заключение для *P. pumila*. В исследованном районе интродукции сохранение и устойчивость репродуктивных органов к последним весенним заморозкам будет выше в том случае, если накопленная сумма эффективных температур колеблется на 20–30 °С в диапазоне 200 °С, а число дней с $T > 5$ °С перед последним заморозком не превышает 20–22 дня, при возможных заморозках ни раньше и ни позже конца второй–начала третьей декады мая. Кроме того, даже небольшой заморозок, произошедший в конце мая при довольно высокой накопленной сумме эффективных температур перед последним заморозком (~ выше 300 °С) и большим числом дней с $T > 5$ °С перед последним заморозком (~ более 27 дней), наиболее губителен для генеративной сферы *P. pumila*.

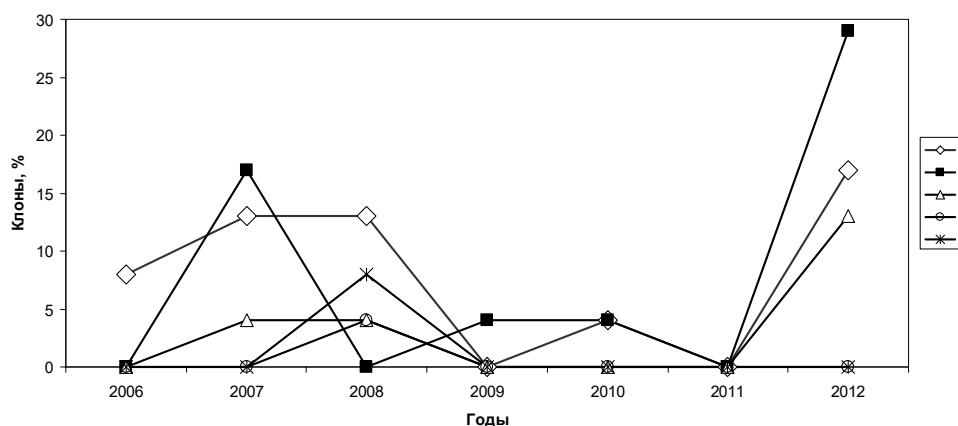


Рис. 3. Погодичная динамика «цветущих» клонов *P. pumila*
 Fig. 3. Annual dynamics of the “flowering” clones of *P. pumila*

На основании исследований роста и развития генеративных структур у *P. sibirica* [2] и полученных в настоящей работе данных можно предположить, что наиболее чувствительными к любым заморозкам для *P. pumila* являются начальный внутрипочечный (первые этапы митотических делений в спорогенной ткани и при формировании семенных чешуй) и конечный внутрипочечный (при завершении дифференциации микроспорофиллов и при закладке тканей семян в период перед освобождением от покровных чешуй почки молодых не до конца дифференцированных шишек) этапы при формировании мужских и женских гаметофитов. Всё это связано с тем, что вид является субарктическим и субальпийским, произрастающим в условиях короткого сезона вегетации с минимальными суммами эффективных температур, поэтому сроки сезонного роста и развития как вегетативных [21, 22], так и репродуктивных органов проходили раньше, чем у других (более теплолюбивых) экзотических пятихвойных сосен. Именно поэтому в условиях юга Западной Сибири, для территории которой характерны практически ежегодные весенние заморозки [3, 4], репродуктивные структуры *P. pumila* очень часто подвержены их негативным влияниям. Полученные результаты полностью согласуются с существующей научной генеральной идеей о том, что деревья северного происхождения, перемещённые в южном направлении, начинают рост и цветение раньше остальных и по этой причине более подвержены губительному влиянию поздних весенних заморозков [23–25].

Проведённое исследование добавляет очередной аргумент в пользу снижения перспективности вида в данном регионе интродукции, так как немаловажным критерием для его акклиматизации является высокая способность интродуцента к полноценному развитию гаметофитов и появлению последующих поколений путём самосева. Тем не менее, хотя в целом вид *P. pumila* позиционируется как субарктическо-субальпийский, он произ-

растает в довольно широком экологическом диапазоне и его западно-континентальный и неморальный экотипы показали лучшую устойчивость к весенним заморозкам юга Западной Сибири. Поэтому необходимо при дальнейших интродукционных испытаниях в данном регионе обратить внимание именно на них.

P. koraiensis – вид, генеративные органы которого развивались по времени после *P. pumila* и *P. cembra* (рис. 2). Так, сроки пика пыления мужских шишек и рецептивные фазы женских шишек проходили с середины по конец третьей декады июня (23–30 июня) при средней сумме эффективных температур 704,7 °C (lim: 674,5–734,8). Развитие генеративных органов начиналось с девятилетнего возраста и продолжалось ежегодно в течение всего периода наблюдений (табл. 3). Мужские шишки присутствовали ежегодно, а женские шишки отсутствовали в 2007 и в 2009 гг. Наиболее репродуктивные сезоны с максимальным числом привоев с мужскими и женскими шишками зафиксированы в период с 2010 по 2012 год, среди которых по продуктивности выделялся последний год наблюдений.

Результаты исследований показали, что данный вид подвержен весенним заморозкам, но не в такой степени как *P. pumila*. Повреждения касались, как правило, только мужской генеративной сферы. Повреждённые заморозками шишки останавливали своё развитие на внутрипочечной фазе, что связано с более поздними сроками прохождения фенофаз по причине большей необходимой для роста и развития суммы эффективных температур, чем у *P. pumila* и *P. cembra*. Повреждения полностью отсутствовали лишь в трёх из семи исследованных сезонах, были минимальными в остальные года и максимальными в 2007 году.

Для данного вида было характерно большее число привоев с мужским типом сексуализации (исключение 2011 год). Кроме того, по сравнению с другими видами встречались деревья с обильным

заложением мужских побегов (до 50 шт. на дерево). По среднему же числу женских шишек *P. koraiensis* незначительно уступал лишь *P. pumila*.

В течение всего периода исследований репродуктивные структуры появлялись на 35 клонах вида. Так, наибольшая доля «цветущих» клонов была характерна для экотипов происхождением из северной части естественного ареала *P. koraiensis* – № 5 «Пивань», № 4 «Горный» и чуть ближе к центральной (континентальной) – № 3 «Известковая» (рис. 4). Генеративные органы на их привоях закладывались ежегодно и в большем количестве по сравнению с экотипами происхождением из более южной части ареала, а потери от майских заморозков снижались от южных к северным экотипам. Дифференциация экотипов по датам пыления мужских шишек и рецептивных фаз женских шишек в годы с отсутствием негативных последствий от заморозков была незначительной (1–3 дня), но прослеживалась тенденция более раннего «цветения» северных по сравнению с южными экотипами.

Как и у *P. pumila*, у всех экотипов *P. koraiensis* также прослеживалась значимая связь повреждаемости генеративных органов с накопленными к моменту заморозка суммой эффективных температур, числом дней, которые накопились до даты последнего заморозка, и с датой последнего заморозка, либо с одним из них.

Анализируя полученные результаты исследования, можно заключить, что генеративные структуры *P. koraiensis* устойчи-

вы к заморозкам (или несут незначительные потери), происходящим до середины третьей декады мая при сумме эффективных температур перед последним заморозком до $\sim 300^{\circ}\text{C}$ и числе дней с $T > 5^{\circ}\text{C}$ перед последним заморозком не более 32. Основные негативные последствия для генеративной сферы представляли заморозки, происходящие позже и, соответственно, при больших остальных использованных в работе показателях. Поэтому в сравнении с повреждаемым заморозками *P. pumila* диапазон устойчивости генеративных структур *P. koraiensis* оказался шире (рис. 5). Это связано с тем, что *P. koraiensis* – вид неморальный, обитающий в природных условиях с большей теплообеспеченностью, поэтому сроки роста и развития начинались позже (при большей накопленной сумме эффективных температур), чем у субарктического *P. pumila* и горно-таёжного *P. sembra*, о чём было сказано выше. Соответственно повреждаемость генеративных органов на привоях была меньше по сравнению с *P. pumila*, причём повреждения в основном приходились, предположительно, на начальные, а не конечные внутрипочечные этапы дифференциации шишек. Тем не менее, экотипы *P. koraiensis*, материнские деревья которых произрастают в местах с меньшей теплообеспеченностью, оказались более устойчивыми к природным условиям юга Западной Сибири, и поэтому именно они могут быть рекомендованы для дальнейших исследований их полной акклиматизации в данном районе интродукции.

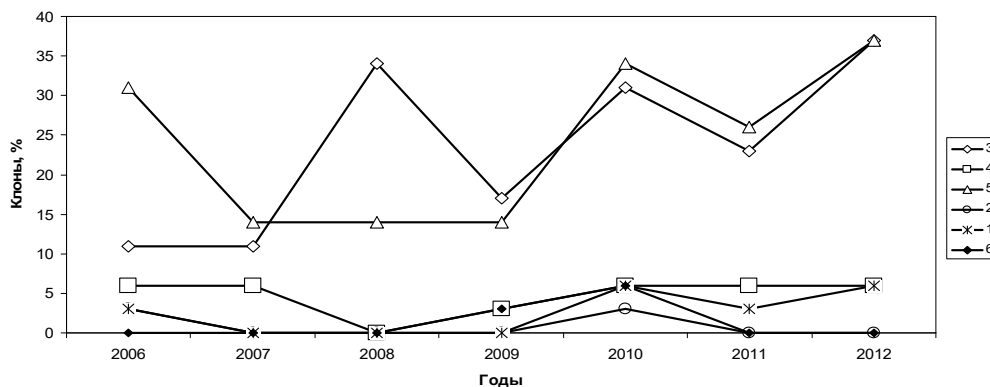


Рис. 4. Погодичная динамика «цветущих» клонов *P. koraiensis*
Fig. 4. Annual dynamics of the «flowering» clones of *P. koraiensis*

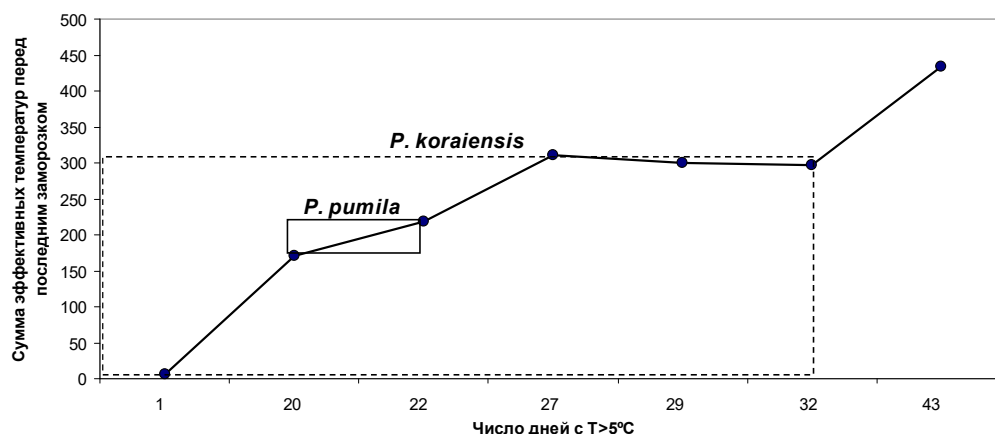


Рис. 5. Диапазон устойчивости к весенним заморозкам мужских и женских шишек первого года у *P. koraiensis* в сравнении с *P. pumila*

Fig. 5. Spring frost resistance range of one-year-old male and female cones in *P. koraiensis* compared with *P. pumila*

P. cembra – вид, который по вегетативной фенологии практически не отличался от местного вида *P. sibirica* [14, 22], поэтому и сроки прохождения генеративных фаз развития были схожи с местным пятихвойным видом. Так, сроки пика пыления мужских шишек и рецептивные фазы женских шишек проходили в начале второй декады июня (20–22 июня) (рис. 2) при средней сумме эффективных температур 667,5 °C (lim: 649,4–685,5). Развитие генеративных органов на привоях начиналось, как и у вышеперечисленных видов, с девятилетнего возраста и, в основном, было представлено мужскими шишками от единичного до среднего количества (табл. 3). Заложение единичных женских шишек было редким и нестабильным. Но вид оказался полностью устойчив к заморозкам в исследованном районе интродукции, поэтому является перспективным для дальнейшего изучения.

P. strobus – самый поздний по срокам генеративной фенологии вид (30 июня–3 июля), требующий по сравнению с другими использованными в работе видами наибольшее количество накопленной суммы эффективных температур для развития шишек, так как обитает в самых тёплых условиях. Так, на момент пика пыления средняя сумма температур составляла 759,1 °C (lim: 734,8–783,4). На привоях *P. strobus* развивались исклю-

чительно мужские побеги (рис. 2, табл. 3) от среднего до обильного количества. Их появление начиналось позже, чем у остальных видов – с одиннадцатилетнего возраста привоев, и было нестабильным, так как наблюдалось только в двух вегетационных сезонах по причине низкой морозостойкости вегетативной сферы [15]. Тем не менее, шишки весенними заморозками не повреждались, поэтому данный вид, условно и с некоторыми допущениями, всё-таки можно отнести к перспективным для дальнейшего интродукционного испытания.

Выводы

Виды по срокам пика пыления и рецептивных фаз шишек расположились в порядке накопления необходимой суммы температур в зависимости от условий их естественного происхождения: субарктическо-субальпийский *P. pumila* (529,4 °C), горнотаёжный *P. cembra* (667,5 °C), неморальный *P. koraiensis* (704,7 °C), муссонные области умеренного и субтропического пояса *P. strobus* (759,1 °C).

Анализ дат последнего заморозка в год наблюдения и температурных показателей района интродукции позволил сделать следующее заключение: чем раньше в мае происходил последний весенний заморозок в сочетании с низкой накопленной суммой эффективных температур,

а также относительно небольшим числом дней с $T > 5^{\circ}\text{C}$ перед последним заморозком, тем выше вероятность сохранения и устойчивость репродуктивных органов у пятихвойных экзотов сосен. Исключение составлял *P. pumila* с его ранними сроками активации развития генеративных структур, которые очень чувствительны даже к небольшим заморозкам, происходящим даже в начале мая, тем не менее, его западный континентальный и неморальный экотипы наиболее устойчивы к их негативным влияниям. У *P. koraiensis* диапазон устойчивости генеративных структур шире, чем у *P. pumila*. Лучшими по продуктивности и устойчивости в условиях юга лесной зоны Западной Сибири оказались экотипы из более суровой для данного вида северной части естественного ареала. Виды

P. cembra и *P. strobus* продемонстрировали наилучшую устойчивость к заморозкам, но при меньшей стабильности развития генеративных органов в течение всего периода исследования. Основная причина описанных закономерностей связана со сроками развития шишек.

Для более полного изучения адаптационных возможностей и улучшения видовой устойчивости к местному климату предлагается продолжить интродукционную работу на растениях, полученных из семян исследованного вегетативного потомства, то есть провести вторичное интродукционное испытание. А все четыре пятихвойных экзотических вида на юге лесной зоны Западной Сибири необходимо рекомендовать для создания разноцелевых лесных культур и использовать в садово-парковом строительстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лапин П. И., Сиднева С. В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М.: ГБС АН СССР, 1973. С. 7–68.
2. Третьякова И. Н. Эмбриология хвойных: монография. Новосибирск: Наука, 1990. 157 с.
3. Волкова Е. С., Мельник М. А. Заморозки в южной тайге Западной Сибири как фактор риска для сферы растениеводства // География и природные ресурсы. 2023. № 1. С. 67–75. DOI: 10.15372/GIPR20230108; EDN: LKNEJM
4. Влияние поздних весенних заморозков на плодоношение кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в изменяющемся климате / С. Н. Велисевич, А. В. Попов, М. А. Мельник и др. // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2024. Т. 28, № 5. С. 138–152. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-138-152; EDN: EPIGAP
5. Результаты 30-летнего мониторинга половой репродукции кедра сибирского в связи с динамикой климата / С. Н. Велисевич, О. В. Хуторной, А. В. Попов и др. // XIII Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: тезисы докладов российской конференции, Томск, 15–19 октября 2019 г. Томск: Агаф-Пресс, 2019. С. 160–161. EDN: RZWFIN
6. 30-year cone production dynamics in Siberian stone pine (*Pinus sibirica*) in the southern boreal zone: a causal interpretation / S. Goroshkevich, S. Velisevich, A. Popov et al. // Plant Ecology and Evolution. 2021. Vol. 154, iss. 3. Pp. 321–331. DOI: 10.5091/PLECEVO.2021.1793; EDN: LIQMIQ
7. Лазарева С. М. Краткие итоги интродукции хвойных в Ботаническом саду МарГТУ // Лесной журнал. 2004. № 5. С. 25–32. EDN: ICGSMN
8. Трофимук Л. П., Пузанский Р. К., Карамышева А. В. Итоги интродукции *Pinus pumila* (*Pinaceae*) в условиях Карельского перешейка (Ленинградская область) // Растительные ресурсы. 2021. Т. 57, № 3. С. 245–259. DOI: 10.31857/S0033994621030092; EDN: VYLJHM
9. Иволина Г. В., Жук Е. А. Опыт выращивания кедрового стланика разного географического происхождения в условиях Западной Сибири // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2024. Т. 28, № 6. С. 18–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-18-27; EDN: GLWESG
10. Лазарева С. М. Использование методик обработки данных фенологических наблюдений (на примере представителей семейства *Pinaceae* Lindl.) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Науки о земле. 2011. Т. 4, № 2. С. 56–65. EDN: NXQRXH
11. Левин С. В. Семеношение кедра корейского (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) при его интродукции в условиях лесостепи Воронежской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2023. Т. 27, № 3. С. 36–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-3-36-47; EDN: CAVORF
12. Лазарева С. М., Котов М. М., Котова Л. И. Хвойные интродуценты Республики Марий Эл. СПб.: Реноме, 2002. 136 с.
13. Тумов Е. В. История выращивания и перспективы плантационного ореховодства кедровых сосен в Восточной Европе // Хвойные бореальной

зоны. 2022. Т. 40, № 5. С. 404–409. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-5-404-409; EDN: UCFYLT

14. Попов А. Г. Первичная интродукция некоторых видов 5-хвойных сосен на юг лесной зоны Западной Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27, № 1–2. С. 169–174. DOI: 10.53374/1993-0135; EDN: NEJQLB

15. Попов А. Г. Состояние экзотов 5-хвойных сосен в условиях юга лесной зоны Западной Сибири // XIII Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: тезисы докладов российской конференции, Томск, 15–19 октября 2019. С. 218–219. EDN: YHPIJHC

16. Попов А. Г. Интродуценты ценных 5-хвойных видов сосен в дендроархивах питомника «Кедр» ИМКЭС СО РАН // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы VI Международной научной конференции, Минск–Лясковичи, Беларусь, 9–13 октября 2023 г. Издательство: ІВЦ Мінфіна, 2023. С. 83–84. EDN: JTPFEM

17. Widespread genealogical nonmonophyly in species of *Pinus subgenus Strobus* / J. Syring, K. Farrell, R. Businsky et al. // Systematic Biology. 2007. Vol. 56, iss. 2. Pp. 163–181. DOI: 10.1080/10635150701258787

18. Климат Томска / Л. И. Трифонова, И. А. Изнаириная, Л. И. Курыгина и др. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 176 с.

19. Титов Е. В. Развитие мегастробиллов у кедров сибирского // Лесная геоботаника древесных растений. 1982. № 18. С. 136–140. EDN: UZRFJN

20. Забелин И. А. Методика фено-экологических наблюдений над хвойными и опыт применения ее

к кедром и соснам // Бюллетень Никитского ботанического сада. 1934. № 13. 55 с.

21. Гроссет Г. Э. Кедровый стланник. Материалы к изучению и хозяйственному использованию: монография. М.: МОИП, 1959. 143 с.

22. Попов А. Г. Исследование вегетативной совместимости кедровых сосен (кедра европейского, кедрового корейского и кедрового стланика) с местным экотипом кедров сибирского; анализ роста и развития привоев в новых условиях // Рациональное использование природных ресурсов и комплексный экологический мониторинг окружающей среды: материалы Международной школы-семинара, Томск, 14–16 декабря 2006 г. / Под ред. С. Н. Кирпотина. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. С. 127–130. EDN: SMRZEX

23. From phenology to forest management: ecotypes selection can avoid early or late frosts, but not both / R. Silvestro, S. Rossi, S. Zhang et al. // Forest Ecology and Management. 2019. Vol. 436. Pp. 21–26. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.01.005; EDN: WWVRPF

24. Common-garden experiment reveals clinal trends of bud phenology in black spruce populations from a latitudinal gradient in the boreal forest / X. Guo, M. Klisz, R. Puchalka et al. // Journal of Ecology. 2022. Vol. 110, iss. 5. Pp. 1043–1053. DOI: 10.1111/1365-2745.13582; EDN: OSZQIZ

25. The early bud gets the cold: Diverging spring phenology drives exposure to late frost in a *Picea mariana* [(Mill.) BSP] common garden / C. Mura, V. Butto, R. Silvestro et al. // Physiologia Plantarum. 2022. Vol. 174, iss. 6. Art. e13798. DOI: 10.1111/ppl.13798; EDN: WQPEAC

Статья поступила в редакцию 15.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 03.03.2025

Информация об авторе

ПОПОВ Александр Геннадьевич – младший научный сотрудник лаборатории дендро-экологии, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук. Область научных интересов – межвидовая и внутри-видовая дифференциация по морфологии побегов и структуре кроны, а также интродукция пятихвойных видов сосен. Автор 16 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4343-4557>; SPIN-код: 9774-2965

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 582.475: 581.522.4: 581.6

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.46>

EDN: LEBDJG

The Influence of Late Spring Frosts on the Reproduction of Four 5-Needle Pine Species during their Cultivation in the South of the Forest Zone of Western Siberia

A. G. Popov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
10/3, Akademicheskii Ave., Tomsk, 634055, Russian Federation
popovaleksa@yandex.ru

Abstract. *Introduction.* As is known from the introduction theory, the two necessary conditions for complete acclimatization of a species in its new habitat are the species' resistance and reproducibility. Late spring frosts are the most important factor that causes losses of crops of forest woody species in the south of the forest zone of Western Siberia. In particular, for the valuable local species of Siberian pine *P. sibirica*, the crop production periodicity is directly dependent on the impact of late spring frosts on its generative organs. To date, no similar research has been conducted on the introduction objects of exotic 5-needle pines in this region. Therefore, the present study aims to assess the influence of late spring frosts on the reproductive organs of four 5-needle exotic pine species during their introduction through the vegetative method in subtaiga and the forest zone of south taiga of Western Siberia. *Methods.* Grafting was performed on four-year-old *P. sibirica* rootstocks, with the 3×6 m placement of trees, in nine replications. The study was carried out during seven years after the transition of grafts to the generative stage of ontogenesis. The assessment of spring frost damage to cones was conducted using the following indicators: the average daily sum of effective temperatures, the last frost date, the sum of effective temperatures before the last frost date, the last frost date temperature, and the number of days with temperatures above +5 °C before the last frost date. *Results.* Based on the timing of peak pollen shedding and cone receptivity phases, the species were placed in the order of accumulation of the necessary sum of temperatures depending on their natural habitat conditions: subarctic-subalpine *P. pumila*, mountain-taiga *P. cembra*, nemoral *P. koraiensis*, and *P. strobus* distributed in monsoonal areas of the temperate and subtropical zones. The survivability and resistance of the reproductive organs in 5-needle exotic pine species were found to be higher in the case the final spring frost occurred earlier in May and was combined with a low accumulated sum of effective temperatures along with a relatively small number of days with temperatures above +5 °C before the last frost date. *Conclusion.* The species *P. cembra* and *P. strobus* were resistant to frosts, while *P. pumila* and *P. koraiensis* were less frost resistant, the latter exhibiting a wider range of resistance of its generative structures. The primary reason is related to the cone development timing. For *P. pumila*, the least adversely affected by spring frosts were the western continental and nemoral ecotypes, while for *P. koraiensis* those were ecotypes from the northern part of its native habitat. It is these ecotypes that are recommended to be used in this introduction area while conducting works on their complete acclimatization and further introduction into forestry and landscaping.

Keywords: introduction; vegetative progeny; peak of pollen shedding; receptivity phases; resistance and damageability of generative organs; potential of species and ecotypes

Funding: this study was carried out under the state task of IMCES SB RAS.

For citation: Popov A. G. The Influence of Late Spring Frosts on the Reproduction of Four 5-Needle Pine Species during their Cultivation in the South of the Forest Zone of Western Siberia. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2025;(1):46–60. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.46>; EDN: LEBDJG

REFERENCES

1. Lapin P. I., Sidneva S. V. Assessment of the prospects for the introduction of woody plants based on visual observation data. In: *Experience in the introduction of woody plants*. Moscow, MBG AS USSR Publ., 1973:7–68. (In Russ.).
2. Tretyakova I. N. Coniferous embryology. *Monograph*. Novosibirsk, Nauka; 1990. 157 p. (In Russ.).
3. Volkova E. S., Mel'nik M. A. Frosts in southern taiga of Western Siberia as a risk factor for plant production. *Geography and Natural Resources*.

2023;(1):67–75. DOI: 10.15372/GIPR20230108; EDN: LKNEJM (In Russ.).

4. Velisevich S. N., Popov A. V., Mel'nik M. A. et al. Influence of late spring light frosts on Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) seed production in changing climate. *Forestry Bulletin*. 2024;28(5): 138–152. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-138-152; EDN: EPIGAP (In Russ.).

5. Velisevich S. N., Khutornoy O. V., Popov A. V. The results of 30-year-old monitoring of Siberian stone pine sexual reproduction in relation to climate dynamics. In: *XIII Siberian conference and a school of young scientists on climatic-ecological monitoring*. Abstracts of reports of the Russian conference (Tomsk, October 15–19, 2019). Tomsk, Agaf-Press; 2019:160–161. EDN: RZWFIN (In Russ.).

6. Goroshkevich S. N., Velisevich S. N., Popov A. V. et al. 30-year cone production dynamics in Siberian stone pine (*Pinus sibirica*) in the southern boreal zone: a causal interpretation. *Plant Ecology and Evolution*. 2021;154(3):321–331. DOI: 10.5091/PLECEVO.2021.1793; EDN: LIQMIQ

7. Lazareva S. M. Brief results of coniferous plants introduction in the Botanic Garden of Mari State Technical University. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2004;(5):25–32. EDN: ICGSMN (In Russ.).

8. Trofimuk L. P., Puzansky R. K., Karamysheva A. V. Results *Pinus pumila* (*Pinaceae*) introduction in the Karelian Isthmus. *Rastitelnye Resursy*. 2021; 57(3):245–259. DOI: 10.31857/S0033994621030092; EDN: VYLJHM (In Russ.).

9. Ivolina G. V., Zhuk E. A. Siberian dwarf pine cultivation of different geographical provenance in Western Siberia. *Forestry Bulletin*. 2024;28(6):18–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-18-27; EDN: GLWESG (In Russ.).

10. Lazareva S. M. Use of techniques of data processing in phenological observations (on the example of *Pinaceae* Lindl.). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Biology. Ecology"* 2011;4(2): 56–65. EDN: NXQRXH (In Russ.).

11. Levin S. V. Korean cedar (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) seed production during its introduction in Voronezh Region forest-steppe. *Forestry Bulletin*. 2023;27(3):36–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-3-36-47; EDN: CAVORF (In Russ.).

12. Lazareva S. M., Kotov M. M., Kotova L. I. Coniferous introducents of the Republic of Mari El. Saint Petersburg, Renome; 2002. 136 p. (In Russ.).

13. Titov E. V. History of cultivation and prospects of pine pine nuts in Eastern Europe. *Conifers of the Boreal Area*. 2022; 40(5):404–409. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-5-404-409; EDN: UCFYLT (In Russ.).

14. Popov A. G. The initial introduction of some 5-needle pine species on the south forest part of Western Siberia. *Conifers of the Boreal Area*. 2010;27(1-2):

169–174. DOI: 10.53374/1993-0135; EDN: NEJQLB (In Russ.).

15. Popov A. G. State of 5-needle exotic pines in the south forest zone of Western Siberia condition. *XIII Siberian conference and a school on climatic-ecological monitoring for young scientists*. Abstracts of reports of the Russian conference (Tomsk, October 15–19, 2019). Tomsk: Agaf-Press; 2019:218–219. EDN: YHPJHC (In Russ.).

16. Popov A. G. Valuable introduced plants of 5-needle exotic pine species in the dendrological archives of "Cedar" nursery IMCES SB RAS. In: *Monitoring and assessment of the state of the plant world*. Materials of VI International scientific conference (Minsk–Lyaskovichi, Belarus, October 9–13, 2023). Minsk: IVTS Minfina Publ.; 2023:83–84. EDN: JTPFEM (In Russ.).

17. Syring J., Farrell K., Businsky R. et al. Widespread genealogical nonmonophyly in species of *Pinus* subgenus *Strobus*. *Systematic Biology*. 2007; 56(2):163–181. DOI: 10.1080/10635150701258787

18. Trifonova L. I., Iznairskaya I. A., Kurygina L. I. et al. Climate of Tomsk. Leningrad, Gidrometeoizdat; 1982. 176 p. (In Russ.).

19. Titov E. V. Megastrobiles development in Siberian stone pine. *Forest Geobotany of Woody Plants*. 1982;(18):136–140. EDN: UZRFJN (In Russ.).

20. Zabelin I. A. Method of phenological and ecological observations over a conifers and experience of its application to cedar and pine trees. *Nikitsky Botanical Garden Bulletin*. 1934;(13):55. (In Russ.).

21. Grosset H. E. *Pinus pumila* (Pall.) Rgl. Materials on its biological study and economical utilization. *Monograph*. Moscow, Moscow Society of Naturalists; 1959. 143 p. (In Russ.).

22. Popov A. G. Investigation of the vegetation compatibility of stone pines (Cembra pine, Korean stone pine and Japanese stone pine) with the local Siberian stone pine ecotype; the analysis of growth and development of grafts in the new environment. In: *Rational use of natural resources and comprehensive ecological monitoring of environment*. Materials of the International school-seminar (Tomsk, December 14–16, 2006). Kirpotin S.N. (Ed.). Tomsk, TPU Publ.; 2006:127–130. EDN: SMRZEX (In Russ.).

23. Silvestro R., Rossi S., Zhang S. et al. From phenology to forest management: ecotypes selection can avoid early or late frosts, but not both. *Forest Ecology and Management*. 2019;436:21–26. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.01.005; EDN: WWVRPF

24. Guo X., Klisz M., Puchalka R. et al. Common-garden experiment reveals clinal trends of bud phenology in black spruce populations from a latitudinal gradient in the boreal forest. *Journal of Ecology*. 2022; 110(5):1043–1053. DOI: 10.1111/1365-2745.13582; EDN: OSZQIZ

25. Mura C., Buttò V., Silvestro R. et al. The early bud gets the cold: Diverging spring phenology drives

exposure to late frost in a *Picea mariana* [(Mill.) BSP] common garden. *Physiologia Plantarum*. 2022;174(6):e13798. DOI: 10.1111/ppl.13798; EDN: WQPEAC

The article was submitted 15.01.2025; approved after reviewing 24.02.2025;
accepted for publication 03.03.2025

Information about the author

Alexander G. Popov – Research Assistant at the Laboratory of Dendroecology, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Research interests – inter- and intra-specific differentiation by shoots morphology and crone structure, introduction of 5-needle pine species. Author of 16 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4343-4557>; SPIN: 9774-2965

Conflict of interests: the author declare no conflict of interest.
The author has read and approved the final manuscript.