

Влияние климатических факторов на вегетативное развитие интродуцированных *Pinus pumila* (Pall.) Regel в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте

The influence of climatic factors on the vegetative development of introduced *Pinus pumila* (Pall.) Regel at the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute

Зыкова П. С., Гончарова О. А.

Zykova P. S., Goncharova O. A.

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина, г. Апатиты, Россия
E-mails: zykovap22@gmail.com, goncharovaoa@mail.ru
Aurorin Polar-Alpine Botanical Garden and Institute, Apatity, Russia

Реферат. В статье охарактеризовано вегетативное развитие интродуцированных *Pinus pumila* (Pall.) Regel на экспериментальном участке Полярно-альпийского ботанического сада-института (окрестности г. Апатиты). Приведены обобщенные многолетние даты наступления основных вегетативных фенофаз, продолжительность линейного роста боковых побегов и хвои, накопленные суммы активных и эффективных температур выше 5 и 10 °С. Для выявления взаимосвязей фенодат и климатических факторов был проведен корреляционный анализ (использовался ранговый коэффициент корреляции Спирмена). Сумма эффективных температур выше 10 °С и сумма осадков сильно варьирует по годам. Выявлены средние, сильные и очень сильные корреляционные между датами наступления различных фенофаз и датами устойчивого перехода через 0, 5, 10 °С; суммами активных и эффективных температур; средней температурой и влажностью воздуха за 5, 10 и 30 дней до наступления фенофазы; датой обособления верхушечной зимующей почки в прошлом вегетационном сезоне и условиями среды, предшествующей ее заложению. Измерены длина побегов и хвои за 2016–2021 гг. Значимых корреляций между длиной побегов и хвои и фенодатами и выбранными климатическими факторами не обнаружено.

Ключевые слова. Длина хвои, интродукция древесных растений, Кольский Север, линейный прирост, сумма активных температур, сумма эффективных температур, фенофазы, хвойные.

Summary. The article describes the vegetative development of introduced *Pinus pumila* (Pall.) Regel that grow in the experimental area of the Polar-Alpine Botanical Garden and Institute (the surroundings of the town Apatity). It gives the generalized over several years dates of the beginning of the main vegetative phenophases, the duration of the lateral shoot linear growth and needles, the sum of active and effective temperatures above 5 and 10 °C. To identify interrelations between phenodates and climatic factors, a correlation analysis was carried out (Spearman's rank correlation coefficient was used). The sum of effective temperatures above 10 °C and the sum of precipitation varies greatly from year to year. Medium, strong and very strong correlations were found between: the dates of the beginning of various phenophases and the dates of a stable transition through 0, 5, 10 °C; sums of active and effective temperatures; average temperature and air humidity for 5, 10 and 30 days before the beginning of the phenophase; the date of isolation of a wintering apical bud in the last growing season and the environmental conditions preceding its isolation. The length of shoots and needles was measured for 2016–2021. Significant correlations between the length of shoots and needles and phenodates and selected climatic factors were not found.

Key words. Coniferous, introduction of woody plants, Kola Peninsula, linear growth of shoots, needle length, phenophases, sum of active temperatures, sum of effective temperatures.

Введение. Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) – хвойный кустарник с широкой экологической амплитудой, приспособленный к жизни в крайне неблагоприятных условиях (Коропачинский, Встовская, 2002; Гонтарь и др., 2010). Декоративен, перспективен для озеленения, в т. ч. территорий с суровым климатом (Казаков, 1993). Фенологические наблюдения важны для понимания биологических особенностей вида, оценки успешности интродукции, а также мониторинга изменения климата (Бейдеман, 1974; Primack et al., 2021). В данной работе предпринята попытка поиска климатических факторов, оказывающих наибольшее влияние на вегетативное развитие кедрового стланика.

Цель – проанализировать фенологическое вегетативное развитие *Pinus pumila* (Pall.) Regel и влияние на него климатических факторов.

Материалы и методы. Объект исследования – кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel), произрастающий на экспериментальном участке Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ), который расположен в окрестностях г. Апатиты Мурманской области. Он представлен 12 экземплярами 30–50 лет, выращенными из семян дикорастущих растений.

Фенологические наблюдения проводили по методикам И. Н. Елагина (1961), Н. А. Бородиной (1965) и Н. Е. Булыгина (1979) каждые 2–3 дня в течение вегетационного периода с 2016 по 2021 гг. Отмечали даты наступления следующих фенофаз: набухание и распускание вегетативных почек (Пч1, Пч2), начало и окончание линейного роста боковых побегов (Пб1, Пб2), полное одревеснение годовых побегов (О2), начало обособления (Л1), разворачивание (Л2) и завершение роста хвои (Л3), а также отмечали период линейного роста боковых побегов (РП), период роста хвои (РХ). Для расчетов использовали также Пч' (обособление верхушечной зимующей почки) предыдущего года. Согласно применяемым методикам наблюдений, дата наступления Пч1 и Пб1, Пб2 и Пч совпадает. За начало роста хвои принята дата распускания вегетативных почек, что связано с особенностями рода *Pinus*. Для дальнейшей математической обработки фенодаты были переведены в непрерывный числовой ряд (Зайцев, 1981).

После завершения вегетационного периода осенью 2021 г. производились измерения длины побегов и хвои линейкой с точностью до 1 мм. С каждой стороны света выбирали по 5 побегов и измеряли длину их годового прироста за 2016–2021 гг. На каждом приросте за каждый год измеряли длину 10 хвоинок.

Метеорологические данные (температура и влажность воздуха, количество осадков) регистрировались каждый час метеостанцией DEVIS envoy8x, установленной на территории экспериментального участка ПАБСИ (67°58' с. ш., 38°30' в. д.). Под суммой активных температур (САТ) подразумевается сумма положительных среднесуточных от даты устойчивого перехода через 0 до наступления определенной фенофазы, под суммой эффективных температур (СЭТ) – сумма среднесуточных температур выше 5 °С или 10 °С от даты устойчивого перехода через +5 °С или +10 °С соответственно до определенной фенодаты. Для периодов роста побегов и хвои САТ и СЭТ вычислялись за данный период, а не от даты устойчивого перехода.

Статистическая обработка фено- и метеоданных, длины побегов и хвои производилась в программах Past 4.11 и Statistica 8. Интерпретация данных по Hammer (2022), Гублер, Генкин (1973), Зайцев (1973). Характер распределения определяли с помощью критерия Шапиро–Уилка. Т. к. в некоторых случаях распределение данных отличалось от нормального ($p < 0,05$), то данные представлены в виде Me [МКИ] (где Me – медиана, МКИ – межквартильный интервал). Для сравнения выборок использовался критерий Краскела – Уоллиса и апостериорный тест Данна (различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$), для корреляционного анализа – коэффициент корреляции Спирмена. Сила корреляционной связи оценивалась по шкале Чеддока (Баврина, Борисов, 2021). При интерпретации результатов учитывались статистически значимые ($p \leq 0,05$), средние ($r_s = 0,5 \dots 0,7$), сильные ($r_s = 0,7 \dots 0,9$) и очень сильные корреляционные связи ($r_s = 0,9 \dots 1$).

Результаты и обсуждение. В таблице 1 представлены обобщенные многолетние данные для вида в целом. Изучаемые фенофазы расположены от самой ранней до самой поздней. Соответствующие им суммы активных и эффективных температур также увеличиваются. Сроки наступления большинства фенофаз могут в разные годы могут варьировать в пределах около 30 дней. Вегетация начинается достаточно поздно, в первой половине июня (Александрова, Головкин, 1978). Следует отметить, что дата перехода через +10 °С в Апатитах наступает достаточно поздно, зачастую позже прохождения ранних фенофаз (набухание и распускание вегетативных почек, начало роста побегов, начало обособление хвои), поэтому использование СЭТ выше +10 °С для их характеристики, вероятно, является некорректным.

Для анализа взаимосвязи фенодат между собой и с климатическими факторами был применен корреляционный анализ. Даты прохождения всех фенофаз сопряжены с самыми ранними фенофазами и завершением роста хвои: чем раньше происходит набухание и распускание почек, начало роста побегов, тем раньше наступают другие вегетативные фенофазы. Положительные корреляции обнаружены и между многими другими фенофазами (от 3 до 6 межфазовых корреляций, табл. 2), кроме продолжительности роста линейных побегов (у него отрицательные).

Таблица 1

Медианы дат наступления фенофаз и соответствующие им САТ и СЭТ

	Пб1, Пч1	Пч2	Л1	Пб2	Л2	Л3	О2	РП	РХ
Дата/ Кол-во дней	30.V [20.V; 5.VI]	7.VI [1.VI; 14.VI]	17.VI [13.VI; 24.VI]	28.VI [21. VI; 2.VII]	2.VII [30. VI; 9.VII]	23.VII [16.VII; 4.VIII]	29.VIII [20.VIII; 12.IX]	31 [24; 35]	50 [45; 53]
САТ	199,1 [158,8; 224,4]	284,7 [239,5; 308,7]	405,4 [373,0; 451,5]	537,3 [498,3; 562,9]	607,7 [566,8; 685,9]	968,8 [922,1; 999,8]	1415,4 [1241,8; 1484,3]	349,2 [320,9; 384,2]	695,6 [643,2; 734,1]
СЭТ(5)	128,5 [94,7; 159,8]	224,3 [150,8; 251,7]	316,8 [295,0; 356,8]	457,4 [426,5; 501,5]	519,1 [458,7; 586,4]	897,4 [836,6; 910,2]	1311,3 [1136,4; 1389,7]	340,0 [308,5; 371,8]	693,3 [640,4; 719,6]
СЭТ(10)	0,0 [0,0; 0,0]	0,0 [0,0; 59,2]	40,6 [0,0; 191,7]	237,7 [85,1; 285,3]	287,5 [218,0; 383,5]	647,2 [460,2; 703,3]	981,0 [732,8; 1099,2]	270,2 [226,8; 312,4]	633,8 [549,3; 681,8]

Примеч.: Данные в графах представлены в виде: Ме – медиана, [МКИ] – межквартильный интервал [25 % процентиль; 75 % процентиль]. Расшифровка сокращений названий фенофаз дана в Материалах и методах. В первой строке для фенодат указана дата, для периодов роста побегов и хвои – продолжительность в днях. САТ, САТ (5), САТ (10) – суммы активных температур от даты устойчивого перехода через 0, 5, 10 °С соответственно до определенной фенодаты.

Таблица 2

Межфазовые корреляции

Пб1	Пч2	Л1	Пб2	Л2	Л3	О2	РП	РХ
Пч2 +++	Пб1 +++	Пб1 +	Пб1 +	Пб1 +	Пб1 +++	Пб1 +	Пб1 –	Пб2 +
Л1 +	Л1 ++	Пч2 ++	Пч2 +	Пч2 +	Пч2 +++	Пч2 ++	Пч2 –	Л2 +
Пб2 +	Пб2 +	Л2 +	Л2 ++	Л1 +	Л1 +	Л3 +	О2 – –	Л3 +
Л2 +	Л2 +	Л3 +	Л3 ++	Пб2 ++	Пб2 ++	РП – –		
Л3 +++	Л3 +++		РХ +	Л3 ++	Л2 ++			
О2 +	О2 ++			РХ +	О2 +			
РП –	РП –				РХ +			

Примеч.: В ячейках указана корреляционная связь: средняя (+), сильная (+ +) и очень сильная (+ + +) положительная, средняя (-) и сильная (- -) отрицательная.

Рядом исследователей (Зайцев, 1981; Кищенко, 2021) установлено, что на сроки наступления фенофаз влияют метеоусловия предшествующего периода и условия периода, предшествующего заложению верхушечной почки в прошлом году. Поэтому, кроме накопленных САТ и СЭТ, была вычислена корреляция для следующих факторов: средняя температура и сумма положительных температур, средняя влажность и сумма осадков за 5, 10 и 30 дней до начала наступления фенофазы. Для периодов роста побегов и хвои использовались немного другие показатели: суммы активных и эффективных температур за период, средняя температура, влажность и сумма осадков за период (табл. 3).

Нужно отметить, что СЭТ больше +10 °С, как правило, имеет настолько большой МКИ, либо содержит много нулевых значений, что встает вопрос о целесообразности использования этого показателя. Также сильно варьируют по годам показатели, связанные с количеством осадков, поэтому возникают сомнения в возможности их взаимосвязи с фенодатами и продолжительностью периодов. В связи с этим, несмотря на то что с суммами осадков были выявлены достоверные корреляции силой выше средних, они не приводятся. Коэффициенты корреляция для сумм положительных температур за 5, 10, 30 дней до начала фенофазы и средней температурой за этот период примерно равны, поэтому в дальнейшем показатель суммы положительных температур за данный период не рассматривается.

Не было обнаружено корреляций между фенодатами и СЭТ больше +10 °С, между фенодатами и большинством показателей, связанных с заложением вегетативной почки в предыдущем году. Эти факторы не взаимосвязаны с изучаемыми фенодатами.

С датами перехода через 0, 5, 10 °С не обнаружено корреляций у следующих фенофаз: Пб2, О2, РП; с температурным фактором: Пч1, Пб1, Пч2; с влажностью: Пч1, Пб1, Пб2, Л1, Л2, РП; с Пч прошлого года и предшествующими метеоусловиями: Л3, О2, РП, РХ. Следовательно, данные фенофазы нечувствительны или малочувствительными к этим факторам.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между датами фенофаз и некоторыми метеорологическими показателями

	Д(0)	Д(5)	Д(10)	САТ	СЭТ(5)	5t	10t	Mt	5h	10h	mh	Пч'	10hПч'	<t>	<h>
Пч1 Пб1	+	++										-	+		
Пч2	+	++							+		+	-			
Л1			+			+		+				-			
Пб2				+			+	+					+		
Л2		+				+							++		
Л3	+	+	+	+			-	--			+				
О2						-	--	--		++	+++				
РП				++	++									-	
РХ			++	+										-	+

Примеч.: Пч' – условия прошлого вегетационного сезона, <t>, <h> – средние значения. Д0, Д5, Д10 – даты устойчивого перехода среднесуточных температур через 0, 5, 10 °С; 5t, 10t, 30t – средняя температура за 5, 10 и 30 дней до фенодаты, 5h, 10h, 30h – средняя влажность. В ячейках указана корреляционная связь: средняя (+), сильная (+ +) и очень сильная (+ + +) положительная, средняя (-) и сильная (- -) отрицательная.

Пч1 и Пб1 чувствительны к датам перехода через 0 и 5 °С, Пч и условиям ее формирования в прошлом году; Пч2 – к датам перехода через 0 и 5 °С, влажности и Пч прошлого года; Л1 – к дате перехода через 10 °С, температуре, Пч прошлого сезона; Пб2 – к температурному фактору и условиями формирования зимующей почки в прошлом году; Л2 – к дате перехода через 5 °С, температуре, условиям формирования Пч в прошлом сезоне; О2 – к температуре и влажности; РП – к температуре; РХ – к дате переходе через 10 °С, температуре и влажности.

Длина годовичного прироста и хвои статистически значимо различается в разные годы (табл. 4), причем наблюдается следующая закономерность: в 2017 г. побег более длинный, чем в 2016 г., в 2018 г. – более короткий, чем в 2017 г., в 2018 г. более длинный, чем в предыдущем и т. д. Длина хвои тоже чередуется, но в обратном порядке: в годы с более длинными побегами хвоя более короткая и наоборот. Для длины побегов и хвои не были обнаружены корреляции с изучаемыми факторами (фенодатами, продолжительностью роста побегов и хвои, климатическими показателями). Таким образом, длина прироста и хвои определяется другими факторами, вероятно, индивидуальными особенностями.

Таблица 4

Длина прироста и хвои

Год	Прирост, см	Хвоя, см
2016	8,3 [6,3; 10,5]	10,0 [8,7; 11,4]
2017	14,8 [10,8; 18,3]	8,2 [7,5; 9,0]
2018	11,0 [7,7; 14,0]	9,1 [8,2; 10,0]
2019	14,5 [11,0; 17,9]	7,6 [6,8; 8,3]
2020	7,5 [5,8; 9,4]	10,2 [9,2; 11,3]
2021	13,6 [10,3; 17,0]	9,4 [8,3; 10,3]
Общее	11,1 [7,1; 14,8]	7,4 [6,2; 8,4]

Выводы. В пункте исследования для *Pinus pumila* (Pall.) Regel выявлены следующие закономерности:

1. Ранние фенофазы (набухание и распускание почек, начало роста побегов), а также полное созревание хвои положительно коррелирует со всеми фенофазами. Наименьшее количество межфазовых корреляций у даты полного одревеснения годичных побегов. Периоды роста побегов и хвои сопряжены с 3 фенодатами.

2. Отсутствуют корреляции между **суммой эффективных температур выше +10 °С** и фенодатами, продолжительностью периодов. **Количество осадков** было исключено из анализа в связи с сильной погодичной вариативностью.

3. К **датам перехода** через температурные пределы чувствительны все анализируемые фенофазы, кроме окончания и продолжительности периода роста побегов, их полного одревеснения. С **температурным** фактором сопряжены сроки всех фенофаз, кроме самых ранних (Пч1, Пб1, Пч2). **Влажность** воздуха взаимосвязана с датами распускания вегетативных почек, полного одревеснения побега, окончания и продолжительностью периода роста хвои. Дата **обособления** верхушечной зимующей **почки** в прошлом вегетационном сезоне сопряжена с ранними фенофазами (Пч1, Пб1, Пч2, Л1). Есть корреляция между **условиями заложения почки** возобновления в прошлом году и набуханием вегетативных почек, началом и окончанием роста побегов, разворачиванием хвои.

4. **Длина побегов и хвои** различается от года к году. Взаимосвязи с выбранными факторами не выявлено. Вероятно, она определяется индивидуальными особенностями.

Благодарности. Работа выполнена на УНУ «Коллекции живых растений Полярно-альпийского ботанического сада-института», рег. № 499394, в рамках темы «Комплексный анализ методик оценки декоративности и их применения к древесным растениям Крайнего Севера (на примере коллекции интродуцированных древесных растений ПАБСИ КНЦ РАН)», № гос. регистрации 1021071612833-7-1.6.11.

ЛИТЕРАТУРА

- Александрова Н. М., Головкин Б. Н.** Переселение деревьев и кустарников на Крайний Север. – Л.: Наука, 1978. – 116 с.
- Баврина А. П., Борисов И. Б.** Современные правила применения корреляционного анализа // Медицинский альманах, 2021. – № 3 (68). – С. 70–79.
- Бейдеман И. Н.** Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. – Новосибирск: Наука, 1974. – 139 с.
- Бородина Н. А.** Методика фенологических наблюдений над растениями семейства Pinaceae // Бюл. ГБС, 1965. – Вып. 57. – С. 11–19.
- Булыгин Н. Е.** Фенологические наблюдения над древесными растениями. – Л.: изд-во ЛТА, 1979. – 79 с.
- Гонтарь О. Б., Жиров В. К., Казаков Л. А., Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н.** Зеленое строительство в городах Мурманской области. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2010. – 224 с.
- Гублер Е. В., Генкин А. А.** Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. – Л.: Медицина. Ленингр. отд-е, 1973. – 144 с.
- Елагин И. Н.** Методика определения фенологических фаз у хвойных // Бот. журн., 1961. – Т. 46, № 7. – С. 984–992.
- Зайцев Г. Н.** Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
- Зайцев Г. Н.** Фенология древесных растений. – М.: Наука, 1981. – 120 с.
- Казаков Л. А.** Интродукция хвойных в Субарктику. – СПб.: Наука, 1993. – 144 с.
- Кищенко И. Т.** Сезонное развитие и перспективность интродуцированных видов *Pinus* L. в таежной зоне (Карелия) // Вестник Пермского университета. Серия: Биология, 2021. – Вып. 3. – С. 149–157.
- Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н.** *Pinus pumila* (Pall.) Regel // Древесные растения Азиатской России. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. – С. 59–60.
- Hammer Ø.** Paleontological Statistics. Version 4.12: Reference manual. – Norway: Natural History Museum; University of Oslo, 2022. – 304 p.
- Primack R. B., Ellwood E. R., Gallinat A. S., Miller-Rushing A. J.** The Growing and Vital Role of Botanical Gardens in Climate Change Research // New Phytologist, 2021. – Vol. 231, Iss. 3. – P. 917–932. DOI: 10.1111/nph.17410.