



HORTUS BOTANICUS

Журнал Совета ботанических садов СНГ при МААН

18 / 2023

HORTUS BOTANICUS

Журнал Совета ботанических садов СНГ при МААН

18 / 2023

ISSN 1994-3849

Эл № ФС 77-33059 от 11.09.2008

Главный редактор

А. А. Прохоров

Редакционный совет

П. Вайс Джексон
Лей Ши
Йонг-Шик Ким
В. Н. Решетников
М. С. Романов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
Е. М. Арнаутова
А. В. Бобров
Ю. К. Виноградова
Е. В. Голосова
Е. Ф. Марковская
Ю. В. Наумцев
Е. В. Спиридович
К. Г. Ткаченко
А. И. Шмаков

Редакция

Е. А. Платонова
С. М. Кузьменкова
Е. В. Голубев

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20, каб. 408.

E-mail: hortbot@gmail.com

<http://hb.karelia.ru>

© 2001 - 2023 А. А. Прохоров

На обложке:

Лиственницы в Ботаническом саду ПетрГУ

Разработка и техническая поддержка

Отдел объединенной редакции научных журналов ПетрГУ, РЦ НИТ ПетрГУ,
Ботанический сад ПетрГУ

Петрозаводск

2023

Биоклиматическая цикличность и её влияние на древесные растения в Санкт-Петербурге

ФИРСОВ**Геннадий Афанасьевич***Ботанический институт имени В. Л. Комарова РАН,
ул. Профессора Попова, дом 2, Санкт-Петербург, 197022, Россия
gennady_firsov@mail.ru***ФАДЕЕВА****Инна Вадимовна***Ботанический институт имени В. Л. Комарова РАН,
ул. Профессора Попова, дом 2, г. Санкт-Петербург, 197022, Россия
butvik@mail.ru***Ключевые слова:**

наука, фенологический мониторинг, времена года, древесные растения, изменения климата

Аннотация: Наблюдения за индикаторами Календаря природы в Ботаническом саду Петра Великого в С.-Петербурге (1980-2021 гг.) позволяют дать фенологическую оценку короткопериодных колебаний климата. На фоне его современного потепления биоклиматическая цикличность проявляется в чередовании ранне-тёплых (1989, 1990, 1992, 1995, 2007, 2008, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020 гг.) и поздне-холодных лет (1980, 1982, 1985, 1987, 1996, 1998, 2003, 2004, 2006, 2011, 2012, 2013 гг.), что отражается на зимостойкости и репродуктивной способности древесных растений. Все наиболее суровые и неблагоприятные зимы наблюдались в поздне-холодные годы. В ранне-тёплые (РТ) годы по сравнению с поздне-холодными (ПХ) заметно теплее среднемесячная температура зимних месяцев (в феврале на 7,2°, в январе на 4,4°). Достаточно заметное различие проявляется и весной, по июнь включительно. Этим создаются лучшие условия для перезимовки растений. В РТ годы продолжительность безморозного периода увеличивается на 9 сут. Сокращается продолжительность зимы на 52 сут., удлиняются весенний и летний сезоны. По шкале зон зимней устойчивости древесных растений в ПХ годы С.-Петербург со среднеминимальной температурой воздуха -26,5° попадает в более холодную зону 5а, в ранне-тёплые годы, с температурой -19,3° – переходит в более тёплую зону 6б.

Получена: 20 марта 2023 года**Подписана к печати:** 19 декабря 2023 года

Введение

Ряд идей известного дендролога и фенолога, профессора Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, Николая Евгеньевича Булыгина (1924-2002), высказанных более 40 лет назад в области интродукции растений, фенологического мониторинга и биоиндикации природных процессов особенно актуальны сейчас, на фоне глобальных изменений климата (Ярмишко, 1999; Фирсов, 2004). Уже в первых публикациях за 1961-1965 гг. Николай Евгеньевич стал интересоваться влиянием метеорологических факторов на цветение и плодоношение древесных растений, влиянием отдельных аномальных зим и лет на растения, особенностями зимнего покоя, биологии отдельных видов с целью внедрения их в озеленение Ленинграда. В конце 1960 – начале 1970-х годов вышли в свет работы об использовании математических методов в обработке материалов наблюдений, о фенопрогнозировании и закономерностях погодичного распределения фенодат (Фирсов, Ярмишко, 2005). Уже в 1970-е годы Николай Евгеньевич стал писать о потеплении климата и влиянии этого эффекта на древесные растения. В то время далеко не все исследователи всерьёз относились к этой проблеме. Влияние потепления климата на растения стало отмечаться в многочисленных научных трудах лишь годы спустя, когда проблема стала более очевидной. Выявленные Н. Е. Булыгиным климатическая и, связанная с ней, фенологическая тенденции, в последнюю четверть 20 века показали изменение уровня ритмо-адаптивных связей растений в условиях потепления климата. В результате у многих термофильных и в прошлом считавшихся непригодными для культуры в Санкт-Петербурге интродуцентов повысилась зимостойкость.

Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия (сейчас Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова) – известный эталонный фенологический стационар, где накоплены самые длительные в России и странах бывшего СССР ряды непрерывных фенологических наблюдений за дендрофеноиндикаторами (по зацветанию черемухи обыкновенной год начала наблюдений - 1840). Как писал сам Николай Евгеньевич, «Лесное» - старинное название северной части Санкт-Петербурга, в которой расположена Лесотехническая академия. Дендрологам сад и арборетум известен как крупный центр интродукционных испытаний древесных растений в таёжной зоне России. Фенологи считают «Лесное» старейшим в стране фенологическим стационаром. Здесь еще в 1829 г. впервые в России были начаты целенаправленные фенологические наблюдения. Несколько поколений исследователей проводят их непрерывно вот уже свыше 180 лет (Булыгин, 1980). Именно в этих непрерывных накопленных рядах и заключается отличительная особенность стационара, где работал, проводил свои наблюдения и дополнял эти ряды Н. Е. Булыгин. В некоторых странах известны и более длительные ряды наблюдений, но они охватывают всего одно-два явления и содержат много пропусков погодичных фенодат. На базе фенологического стационара «Лесное» получено 17 непрерывных рядов наблюдений длительностью свыше 75 лет по состоянию на 1995 г. (Булыгин, 1996 а), а 9 из них превышают полтора века.

Н. Е. Булыгин начал обработку этих рядов с конца 1960 гг., а первые публикации появились в 1970-х гг. Исследованиями Н. Е. Булыгина и З. Н. Довгулевич (1974 а, б), Н. Е. Булыгина (1975 а, б), Н. Е. Булыгина, С. В. Бердниковой, Л. Г. Михалкиной (1976) установлено, что в «вековых» (1841-1969 гг.) фенологических рядах, характеризующих сезонную динамику ленинградской природы от фенологического времени года «начало весны» до «апогея лета» имеется общая тенденция: наиболее позднее наступление фенодат в середине 19 века, что соответствует периоду наибольшего похолодания климата того столетия и прогрессивно раннее наступление фенодат с 90-х годов 19 века по конец 1960-х гг., как отражение известного потепления климата. Выявленную линию фенологической тенденции можно рассматривать как нисходящую ветвь достаточно длительного двухвекового фенологического цикла, являющегося зеркальным отражением восходящей ветви соответствующего климатического цикла.

Н. Е. Булыгин принял участие в Третьем совещании, посвященном ритмике природных явлений, организованном Географическим обществом СССР в 1976 г. (Булыгин, Топпер, 1976, 1977). Контрольное прогнозирование с применением фенолого-статистического метода свидетельствует о том, что при резко выраженных погодных аномалиях даже в период, для которого составлены корреляционные уравнения связи (1939-1970 гг.) фактическая ошибка прогноза хотя и не превышает средней квадратической ошибки уравнения, но всегда возрастает. Поэтому Н. Е. Булыгину представилось целесообразным проанализировать изменчивость ошибок прогноза как проявление изменчивости сопряженных фенологических лагов на 134-летних фенологических рядах за периоды, характеризующиеся наиболее поздними (1861-1880 гг.) и ранними (1921-1940 гг.) датами.

На VIII Дендрологическом конгрессе социалистических стран в Тбилиси Н. Е. Булыгин (1982 а) ввёл в научную терминологию понятие биоклиматической цикличности (БКЦ) и в дальнейшем развивал это направление науки. Под этим он понимал цикличность реакции древесных растений на короткопериодные колебания климата с учетом возрастной изменчивости самой этой реакции. Интегральным показателем БКЦ разных типов служат даты наступления фенологического периода и температуры воздуха смежных теплой и холодной частей года. Н. Е. Булыгин выделял три группы лет: ранне-тёплые, средние или нормальные и поздне-холодные. Отдельные соседние годы он объединял в циклы. Наиболее отчетливо БКЦ выражается при сопоставлении двух альтернативных биоклиматических циклов – ранне-тёплых (РТ) и поздне-холодных (ПХ), индикаторами которых служат фенодаты начала «пыления» ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench).

Биоклиматическая цикличность – это сложное сочетание климатической и сопряженной с ней дендрофенологической цикличности в связи с многолетней изменчивостью биологических свойств растений. Именно проявление БКЦ определяет временную изменчивость как разных показателей адаптивности растений, так и оценок результатов интродукции и перспективности интродуцентов для разведения (Булыгин, 1996 б; Булыгин, Фирсов, 1998).

Н.Е. Булыгин опирался на работы своих предшественников и на достижения науки о ритмичности природных процессов. За 4 года до этого была опубликована статья Г.Е. Шульца (1978) «Фенологические наблюдения – индикатор циклических колебаний климата». Приведенные Шульцем рекогносцировочные материалы ставили на порядок дня систематические исследования по краткосрочным фенологическим, а следовательно, и климатическим циклам. К тому времени был сделан анализ на цикличность наиболее длинных многолетних рядов фенологических наблюдений. Были

выявлены следующие, не остающиеся вполне постоянными циклы: 2 года, 3,5 год, 7-8 лет, 16 лет и 31 год.

Как известно, ритмичность является существеннейшим фактором изменчивости природных условий во времени и пространстве. С одной стороны, она присуща почти всем процессам в ландшафтной оболочке Земли, а с другой – именно закономерности ритмичности дают возможность предвидеть пути поступательного развития или изменчивости тех или иных интересующих нас природных явлений в перспективе (Шнитников, 1976). Явления ритмичности природных процессов привлекали и привлекают внимание всё более широких кругов учёных как в России, так и за рубежом. Как справедливо отмечает Е.В. Максимов (1976), необходимо различать три категории явлений: периодичность, цикличность и ритмичность. Первая подразумевает равновеликий характер временных интервалов. Вторая – возвращение системы в исходное положение, хотя бы и через разные промежутки времени. Третья, то есть, собственно ритмичность, напоминая одновременно и периодичность и цикличность, никогда не бывает хронологически строга и никогда не приводит систему в точности в исходное положение. В научной литературе понятия ритмичности и цикличности часто выступают как синонимы. По существу под ритмичностью подразумевают сложный и поэтому неправильный волновой процесс. Явление ритмичности относится к числу фундаментальных закономерностей природы. Ритмичность присуща широкому кругу явлений космического, геофизического и биологического характера, в том числе явлениям ландшафтной оболочки Земли в их изменчивости от нескольких лет до многих тысячелетий.

Среди внутривековых известны полтора десятка ритмов продолжительностью от 2-3 до 30-40 лет (Максимов, 1976). Установлено, что существует близкий к периодичности ритм продолжительностью примерно в 3,5 года. Однако проявляется он не на «нулевом» фоне, а интерферирует с ритмом продолжительностью в 11 лет. Именно этот последний фоновый для натурального ритм и вызывает нарушение правильности проявления натурального ритма.

Солнечная активность представляет собой сложный ритмический (полициклический) процесс, основными составляющими которого являются 5-6-летний, 11-летний, 22-летний и 80-90 летний циклы. Главный цикл – 11-летний, отчетливо видный в пятнообразовательной деятельности Солнца (числа Вольфа). Вековой, или 80-90-летний цикл модулирует амплитуды 11-летних циклов, 22-летний цикл проявляется в изменении распределения магнитных полей на Солнце, а также в чередовании более и менее интенсивных 11-летних циклов и в объединении четного и нечётного 11-летних циклов в один двойной цикл. 5-6-летний цикл виден в корпускулярной активности Солнца (возмущения магнитного поля Земли). Геомагнитные возмущения делятся на два типа: спорадические (вспышечные) и рекуррентные. Возмущения первого типа развиваются вблизи максимумов чисел Вольфа, а возмущения второго типа наиболее часты незадолго до минимумов солнечной активности. Возмущения каждого из этих типов обнаруживают 11-летнюю цикличность, но индексы магнитной возмущенности, учитывающие возмущения обоих типов, изменяются в 5-6-летнем цикле (Оль, 1976). В колебаниях атмосферной циркуляции и в обусловленных ими элементах климата (температуры, давление, осадки) отчетливо проявляются все ритмы солнечной активности, но характер этих проявлений различен в разных участках земной поверхности. Например, обнаружено, что июльские температуры в центральной части Англии в 1750-1880 г. следовали 22-летнему циклу, причем максимальные температуры наблюдались в нечётных 11-летних циклах. Исследования колебаний атмосферных осадков и температуры при помощи спектральных методов также позволяют выделить 5-6, 11 и 22 летнюю цикличность, хотя наряду с этим отмечаются и циклы, не имеющие солнечного происхождения (Оль, 1976). Исследования других ученых показали связь засух с 11-летним циклом рекуррентных магнитных возмущений. Гелиообусловленные ритмические колебания климата приводят к соответствующим изменениям в физико-географических факторах, влияющих на состояние ландшафтной оболочки Земли. К таким факторам относятся увлажнённость земной поверхности, уровень Мирового океана и состояние ледников, уровни озер, состояние грунтовых вод, сток рек, прирост деревьев. 22-летнюю цикличность в дендрохронологических данных отмечали Т.Т. Битсвинкас, Н.В. Ловелиус, С.И. Костин, Е.В. Максимов и Н.Н. Максимова (Оль, 1976). В 1900 г. американский астроном Э.У. Браун выдвинул концепцию, согласно которой главной причиной изменения численности солнечных пятен являются приливы на Солнце, вызываемые действием приливообразующих сил Меркурия, Венеры, Земли, Юпитера и Сатурна. В частности, он показал, что учет совместного действия приливообразующих сил Юпитера и Сатурна позволяет объяснить главный период изменения численности пятен, близкий к 11 годам, и что действие сил трех других названных планет также влияет на изменение количества пятен во времени (Ржонскицкий, 1976). Выводы Брауна были подтверждены многими другими исследователями. Как отмечает С.Л. Афанасьев (1976), 11-12-летние пульсации геологических процессов на Земле хорошо увязываются с 11-летней периодичностью солнечной активности, которая, в свою очередь, по-видимому, связана с периодом обращения Юпитера вокруг Солнца (11, 86 лет). Точно так же как Луна влияет на приливные явления в

атмосфере, гидросфере и литосфере Земли, планеты Солнечной системы вызывают возмущение атмосферы Солнца, усиливая процессы, приводящие к образованию солнечных пятен, и через Солнце контролируемые процессы, происходящие на Земле.

Таким образом, одним из важных результатов многолетнего фенологического мониторинга в «Лесном» явилась возможность оценки вековых изменений биоклиматических условий Петербурга и в целом всего региона под влиянием известного потепления климата в XX веке. Н.Е. Булыгиным совместно с коллегами, сотрудниками кафедры ботаники и дендрологии, преподавателями кафедры высшей математики была выполнена серия работ по математическому моделированию динамики различных фенологических процессов, феноградиентов, биофенологической, эколого-фенологической и фенолого-климатической сопряженности на основании многолетних дендрофенологических данных, накопленных в этом феностационаре и других районах России и метеорологической информации. Это позволило разработать и апробировать ряд методов долгосрочных прогнозов динамики продвижения фронта фенопроцессов, динамики наступления фенологического времени года с приуроченными к нему агротехническими мероприятиями, динамики наступления хозяйственно важных фенофаз растений. В результате стало возможным проследить современные фенологические тенденции и направления ожидаемой погоды.

Н.Е. Булыгин развил оригинальный метод фенологического прогноза теплообеспеченности вегетационного сезона, предложенный Ф.Ф. Давитая (1964). Суть его в том, что теплообеспеченность, выраженная через сумму средней суточной температуры воздуха выше 10° рассчитывается по фенодатам-индикаторам с применением соответствующего уравнения линейной регрессии. По Ф.Ф. Давитая, в районе Ленинграда выявлена поразительно высокая для биоклиматических явлений связь между весенними дендрофеноиндикаторами (начало облиствения берёзы, зацветание черёмухи и сирени) и последующей суммой температур. Как отмечает Н.Е. Булыгин с соавторами (1980, с. 62): «Климатологам ещё предстоит объяснить метеорологические причины выявленной связи». Вероятно, это связано с особенностями циркуляции атмосферы. Логично выглядит положение Ф.Ф. Давитая (1964, с. 115) о том, что на европейской территории России «как развёртывание весны, так и последующий ход погоды определяются, как правило, одними и теми же крупномасштабными процессами». Следствием этого является наличие сезонных тенденций в теплообеспеченности, о направленности которых сигнализируют растения. «С позиций интересов практики растениеводства открытого грунта (лесное и сельское хозяйство, озеленение) весьма перспективным представляется применение комбинированного прогнозирования фенологическими методами тех фенолого-метеорологических ситуаций (ФМС), в которых могут оказаться растения в тот или иной период их вегетации» (Булыгин и др., 1980, с. 65). Такое комбинированное прогнозирование заключается в сочетании фенологического расчёта динамики наступления фенофаз и ожидаемой теплообеспеченности.

Наблюдающиеся короткопериодные колебания климата Санкт-Петербурга приводят к проявлению биоклиматической цикличности (Булыгин, Бердникова, Михалкина, 1976; Фирсов, Фадеева, 2013). Цикличность обуславливает повторяемость погодичных био-метеорологических ситуаций разных типов, от благоприятных до критических по отношению к растениям. Этим в конечном итоге определяется временная амплитуда изменчивости их зимостойкости. Уровни адаптированности растений и оценки их перспективности для разведения в значительной степени связаны с тем, в биоклиматический цикл какого типа проводятся испытания (Булыгин, 1996 б; Булыгин, Фирсов, 1998). Причины противоречивости результатов исследований кроются в высокой изменчивости самой зимостойкости, одним из факторов которой является биоклиматическая цикличность. Она обуславливает повторяемость погодичных био-метеорологических ситуаций разных типов от благоприятных до критических по отношению к интродуцентам, чем в конечном итоге определяется временная амплитуда изменчивости их зимостойкости, как и других показателей уровней адаптированности. Поэтому региональный анализ проявлений биоклиматической цикличности с учетом фенологической периодизации года должен стать обязательным элементом исследований при интродукции деревянистых биоморф, особенно деревьев лесного типа и лиан. Региональный анализ проявления биоклиматической цикличности и воздействия её на интродуценты представляется необходимым элементом комплекса проводимых интродукционных испытаний, оценки перспективности интродуцентов для разведения, их репродуктивной способности, организации семеноводства и выращивания семенного потомства.

Продолжение исследований по биоклиматическому мониторингу особенно актуально в настоящее время. В условиях меняющегося климата и прогрессирующего его потепления могут значительно измениться границы агроклиматических районов и зон зимней устойчивости древесных растений. В результате чего перспективными для озеленения как Санкт-Петербурга, так и других городов России могут стать более теплолюбивые растения. Заметно может возрасти число видов и форм, пригодных

для дендрологических коллекций, зимостойкость которых позволяет им расти в открытом грунте. Хотя потепление климата далеко не всегда и не во всех случаях благоприятно для интродуцированных растений, оно открывает более широкие возможности как для первичной, так и повторной интродукции. Это дает возможность выращивать больше видов из семян местной репродукции и способствовать в конечном счете их акклиматизации.

Основанием для отнесения каждого года к тому или иному биоклиматическому циклу служат статистики ряда распределения фенодат зацветания *Alnus incana*. В практике интродукционных испытаний, проводимых в С.-Петербурге, в последние десятилетия показатели адаптированности древесных интродуцентов оцениваются через показатели биоклиматической цикличности по трём обусловленным ею уровням биоклиматической ситуации: типичной для подзоны южной тайги; благоприятной (с повышенной теплообеспеченностью холодных и теплых сезонов года) и неблагоприятной. Наиболее отчетливо биоклиматическая изменчивость выражается при сопоставлении двух альтернативных биоклиматических циклов – ранне-теплого и поздне-холодного. Проявление цикличности (которая существовала, очевидно, всегда, при любом климате), сейчас происходит на фоне климатической тенденции в направлении его потепления.

Для нас представляет интерес, как проявляется биоклиматическая цикличность сейчас, в начале третьего тысячелетия, насколько различаются метеорологические показатели в ранне-теплые и поздне-холодные годы. Какова реакция растений, проявляется ли она в годы с разной биоклиматической ситуацией и насколько. Этому и посвящена наша статья.

Принятые обозначения: ПВ – подсезон «Предвесенье», СТ1 – первый феноэтап подсезона «Снеготаяние», СТ2 – второй феноэтап подсезона «Снеготаяние», ОВ1 и ОВ2 – первый и второй феноэтапы подсезона «Оживление весны», РВ1 и РВ2 – первый и второй феноэтапы подсезона «Разгар весны», НЛ1 – первый феноэтап подсезона «Начало лета», НО1 – первый феноэтап подсезона «Начало осени», ЗО1 и ЗО2 – первый и второй феноэтапы подсезона «Золотая осень», ГО1 и ГО2 – первый и второй феноэтапы подсезона «Глубокая осень», ПЗ – подсезон «Предзимье», ПРз – «Первозимье» (начало зимы).

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являются древесные растения интродуцированной и местной дендрофлоры в Санкт-Петербурге и дендрофеноиндикаторы Календаря природы. Исследование выполнено в феностанции Ботанического сада Петра Великого БИН РАН. Использованы литературные данные по интродукции древесных растений и результаты собственных наблюдений. Ежегодная оценка обмерзания проводится с начала 1980-х гг. по шкале П. И. Лапина (1967): 1 — отсутствие повреждений, 2 — подмерзание хвои и концов однолетних побегов, 7 — гибель растения от морозов. В работе использованы данные метеостанции Санкт-Петербург Северо-Западного межрегионального территориального управления федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Обозначения фенофаз даны по Н. Е. Булыгину (1979). Естественная периодизация года приводится по Н. Е. Булыгину (1982 а). Деление на ранне-теплые и поздне-холодные годы выполнено по методике Н. Е. Булыгина (1982 б).

Результаты и обсуждение

По методике Н. Е. Булыгина были выделены ранне-тёплые и поздне-холодные годы за период 1980-2021 гг. (42 года). Средняя дата зацветания ольхи серой за период 1980-2021 гг. (n=42) - 1 апреля \pm 2,1 сут. Если принять значение \pm 3 м за норму (при P=0,99), то в норму попадают годы: 1 апреля \pm 6,5 сут., то есть, от 26 марта по 8 апреля включительно. Годы с зацветанием ольхи 25 марта и ранее, попадают в «ранние» и, соответственно, от 9 апреля и позже - в поздние (рис. 1). Оказалось, что к поздне-холодным годам можно отнести 12 лет: 1980, 1982, 1985, 1987, 1996, 1998, 2003, 2004, 2006, 2011, 2012 и 2013 гг. А к ранне-тёплым: 1989, 1990, 1992, 1995, 2007, 2008, 2014, 2015, 2016, 2019 и 2020 гг. (11 лет).

На рис. 1 обозначено: X - среднее значение ряда дат зацветания *Alnus incana*.

Различие в температурном режиме по месяцам и годам в ранне-тёплые и поздне-холодные годы можно видеть из данных таблицы 1.



Рис. 1. Даты зацветания *Alnus incana* (1830-2021 гг.) – индикатор короткопериодных колебаний климата.

Fig.1. Dates of flowering of *Alnus incana* (1830-2021 гг.) – the indicator of short-periodical oscillations of climate.

Таблица 1. Среднемесячные и годовая температура воздуха в Санкт-Петербурге в ранне-тёплые и поздне-холодные годы (1980-2021 гг.).

Table 1. Monthly air temperature and average year temperature at Saint-Petersburg in early-warm and late-cold years (1980-2021).

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ПОЗДНЕ-ХОЛОДНЫЕ ГОДЫ (n=12)													
1980	-8,9	-8,3	-4,6	5,0	7,7	18,6	17,0	15,5	11,1	5,9	-1,7	-3,4	4,5
1982	-10,6	-6,8	-0,1	4,1	10,4	11,9	17,7	16,6	11,2	5,3	3,7	-0,3	5,3
1985	-13,7	-14,9	-0,8	2,3	10,1	13,4	16,4	18,4	10,9	7,5	-1,0	-6,0	3,6
1987	-17,9	-5,6	-4,7	2,6	10,2	14,9	15,9	13,9	9,8	6,4	-2,0	-5,5	3,2
1996	-7,0	-10,9	-2,9	3,4	10,3	14,7	16,2	18,4	9,7	6,6	4,0	-5,2	4,8
1998	-1,7	-7,3	-4,2	3,6	10,8	16,4	18,0	14,7	11,8	6,5	-5,1	-4,1	5,0
2003	-9,5	-5,7	-1,6	2,3	12,1	13,0	21,4	16,6	12,4	5,1	2,4	-0,8	5,6
2004	-8,1	-5,4	-0,6	4,9	11,1	14,7	18,5	17,8	13,2	6,5	-0,1	-0,7	6,0
2006	-5,8	-10,7	-5,8	5,4	11,8	17,0	19,2	18,9	14,2	8,1	1,7	3,0	6,4
2011	-5,8	-11,0	-1,9	5,7	11,0	17,7	22,5	17,5	13,1	7,6	3,6	1,9	6,8
2012	-4,8	-10,4	-1,0	4,9	12,7	15,2	19,5	16,3	12,9	6,6	2,9	-7,9	5,6
2013	-6,1	-2,6	-6,6	4,2	14,4	19,8	19,0	18,6	12,1	7,3	4,4	0,9	7,1
X	-8,3	-8,3	-2,9	4,0	11,1	15,6	18,4	16,9	11,9	6,6	1,1	-2,3	5,2
РАННЕ-ТЁПЛЫЕ ГОДЫ (n=11)													
1989	-0,7	0,6	2,5	7,7	12,5	18,4	18,9	16,4	12,9	6,0	0,6	-5,0	7,6
1990	-5,4	1,7	1,4	8,1	9,8	14,3	17,0	16,6	9,0	5,8	-0,5	-1,8	6,3
1992	-2,7	-2,7	1,8	3,3	11,0	16,7	17,8	16,6	13,8	1,5	-2,5	-0,1	6,2
1995	-4,1	-0,3	1,1	4,8	11,1	19,3	16,5	16,9	12,3	8,3	-1,8	-8,6	6,3
2007	-2,8	-10,6	3,6	5,2	12,4	16,0	18,5	19,6	12,1	7,5	-0,8	0,9	6,8
2008	-1,8	-0,2	0,4	7,0	11,0	15,1	17,9	16,0	10,7	8,8	3,0	-0,9	7,3
2014	-7,0	0,0	2,2	6,5	13,0	15,0	21,2	18,8	13,5	5,2	0,8	-1,0	7,4
2015	-2,7	-0,6	2,6	5,1	11,8	15,9	16,9	18,2	14,0	5,6	3,1	2,1	7,7

2016	-11,2	0,0	1,0	6,3	14,7	16,4	19,0	17,2	12,9	5,0	-1,8	-1,2	6,5
2019	-6,4	-0,5	0,1	7,3	12,1	18,6	16,6	17,0	12,2	6,1	1,9	1,8	7,2
2020	1,5	0,6	2,2	4,2	10,0	19,1	17,6	17,2	14,3	9,1	3,9	-0,7	8,3
X	-3,9	-1,1	1,7	5,9	11,8	16,8	18,0	17,3	12,5	6,3	0,5	-1,3	7,1
ΔX	+4,4	+7,2	+4,6	+1,9	+0,7	+1,2	-0,4	+0,4	+0,6	-0,3	-0,6	+1,0	1,9
Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год

Примечание: В таблице 1 обозначено: X - среднее значение, ΔX - разница температур между ранне-тёплыми и поздне-холодными годами.

Таблица 2. Даты последнего весеннего и первого осеннего заморозков в воздухе в поздне-холодные и ранне-теплые годы, 1980-2021 гг.

Table 2. Dates of the last spring and the first autumnal frosts in air in late-cold and early-warm years, 1980-2021

Год	Последний весенний заморозок в воздухе			Первый осенний заморозок в воздухе			Безморозный период, сут.
	дата	феноэтап	To, C	дата	феноэтап	To, C	
ПОЗДНЕ-ХОЛОДНЫЕ ГОДЫ, n=12							
1980	22 мая	PВ1	-1,2	24 октября	ПЗ	-2,2	155
1982	23 апреля	ОВ1	-0,4	11 октября	ЗО2	-2,4	171
1985	22 мая	PВ1	-0,3	18 октября	ЗО2	-2,1	149
1987	28 апреля	ОВ2	-0,3	21 октября	ГО2	-0,3	176
1996	25 апреля	ОВ1	-2,8	15 октября	ЗО2	-1,0	173
1998	16 апреля	СТ2	-3,1	06 октября	ЗО1	-1,6	173
2003	27 апреля	ОВ2	-3,8	19 октября	ГО1	-2,6	175
2004	13 мая	PВ2	-0,6	10 октября	ЗО2	-0,2	150
2006	24 апреля	ОВ1	-0,8	29 октября	ГО1	-1,8	188
2011	20 апреля	ОВ1	-0,7	15 октября	ЗО2	-0,8	178
2012	19 апреля	ОВ1	-1,2	26 октября	ГО1	-1,2	190
2013	29 апреля	ОВ2	-0,5	14 октября	ГО1	-0,2	168
X	30 апреля	-	-	17 октября	-	-	170
РАННЕ-ТЕПЛЫЕ ГОДЫ, n=11							
1989	06 апреля	ОВ1	-1,9	19 октября	ГО1	-1,0	196
1990	12 мая	PВ2	-0,2	03 октября	ЗО2	-1,7	144
1992	25 апреля	ОВ2	-1,0	11 октября	ПЗ	-1,5	169
1995	11 мая	PВ1	-0,9	22 октября	ГО2	-1,5	164
2007	01 мая	PВ1	-1,3	04 ноября	ПЗ	-1,5	187
2008	20 апреля	ОВ2	-0,5	07 ноября	ПЗ	-1,5	201
2014	10 апреля	ОВ1	-2,4	17 октября	ЗО2	-1,6	190
2015	19 апреля	ОВ2	-1,2	07 октября	ЗО1	-0,2	171
2016	12 апреля	ОВ2	-0,5	19 октября	ГО1	-0,4	190
2019	14 апреля	ОВ2	-1,3	06 октября	ЗО2	-2,0	175
2020	25 апреля	ОВ2	-1,0	21 октября	ЗО2	-0,9	179
X	22 апреля	-	-	18 октября	-	-	179 суток

Примечание: В таблице 2 обозначено: X - среднее значение.

Среднегодовая температура в ранне-тёплые годы на 1,9° больше, чем в поздне-холодные (увеличилась с 5,2° до 7,1°). Это очень сильное различие и высокие абсолютные значения температуры. Можно вспомнить, что во второй половине 20 века «нормой современного климата» в Ленинграде считалась годовая температура 4,3°. Если посмотреть по месяцам, то очень сильно различаются два самых холодных месяца года: январь - на 4,4° и февраль - на 7,2°. Март в ранне-тёплые годы во всех случаях стал уже не зимним, а с положительной температурой воздуха, и отличается от поздне-холодных лет на 4,6°. Достаточно высокое различие и в апреле (на 1,9°). Оно проявляется по июнь включительно (1,2°), в другие месяцы различие уже незначительное. Из данных таблицы 1 видно важное значение режима температуры для растений в ранне-тёплые годы по сравнению с поздне-холодными. В ранне-тёплые годы более длинный вегетационный сезон, лучшие условия для перезимовки древесных растений, вызревания их побегов и подготовки к зиме. Важно обратить внимание, что более высокая обеспеченность теплом в ранне-тёплые годы проявляется в самые холодные зимние месяцы года и в первой половине вегетационного сезона.

Можно заметить, что после тёплых зим, какими были зимы 1988/89 и 1989/90 гг. у 70-80 % видов коллекции Ботанического сада Петра Великого обмерзания отсутствовали, у 10-15 % были отмечены повреждения почек и концов побегов. И лишь у отдельных видов имело место обмерзание побегов старше одного года (Фирсов и др., 2008).

В таблице 2 приводятся даты последних весенних и первых осенних заморозков, а также продолжительность безморозного сезона в поздне-холодные и ранне-тёплые годы.

Оказывается, что различие существует, и в ранне-тёплые годы весенние заморозки оканчиваются на 8 суток раньше, а в целом продолжительность безморозного периода увеличивается на 9 суток, что является благоприятным фактором для растений.

Если мы сравним динамику сезонного развития по Календарю природы в ранне-тёплые и поздне-холодные годы, то увидим значительную разницу между этими группами лет. В среднем в ранне-тёплые годы от весны и до самой осени даты наступления феноэтапов года идут с опережением. В конце зимы и начале весны различие очень сильное, но оно не исчезает и до осени. Различие на этапе «Предвесенье» - 41 сут., на первом этапе подсезона «Снеготаяние» - 37 сут., а на втором его этапе - 26 сут., на первом этапе подсезона «Оживление весны» - 36 сут. То есть, ольха серая зацветает в ранне-тёплые годы в среднем раньше, чем в поздне-холодные годы более чем на месяц. На втором этапе подсезона «Оживления весны» различие несколько сглаживается - до 15 сут. И далее, от подсезона «Разгар весны» и до подсезона «Начало осени», различие хотя и не так сильно выражено, но сохраняется: от 5 суток на третьем этапе подсезона «Разгар весны» до 15 суток на первом этапе подсезона «Спад лета». В поздне-холодные годы сезонное развитие природы идёт, как правило, с отставанием от среднесезонных сроков. В 1980 г. 14 этапов до самого конца лета были достоверно поздними, и лишь один (второй этап подсезона «Начало лета») попал в средние сроки. Такое же выраженное холодное лето с поздними датами от начала подсезона «Оживление весны» до второго этапа подсезона «Спад лета» включительно (12 феноэтапов подряд) было в 1982 г. В 1985 г. с поздними датами наступления было 13 этапов подряд до самого начала осени. В холодный 1987 г., когда в Ленинградской области местами ушла в зиму невызревшая клюква (Фирсов, Фадеева, 2009), тоже имели место отрицательные аномалии: 7 феноэтапов подряд, от второго этапа подсезона «Разгар весны» до третьего этапа подсезона «Полное лето», а также второй этап подсезона «Спад лета». В годы ранне-тёплые, наоборот, развитие природы в подавляющем большинстве случаев идёт с опережением своих среднесезонных значений. Очень выражен при этом год 1989, с которого началось заметное потепление климата в Санкт-Петербурге (Фирсов, 2014; Фирсов, Волчанская, 2021) - все феноэтапы года от «Предвесенья» и до начала осени были ранними.

Представляет интерес проследить сроки наступления и продолжительность сезонов года в ранне-тёплые и поздне-холодные годы (табл. 3).

Таблица 3. Даты наступления и продолжительность сезонов года в Ботаническом саду Петра Великого в Санкт-Петербурге, годы РТ и ПХ (1980-2021 гг.)

Table 3. Dates of beginning and duration of seasons of the year at Peter the Great Botanic Garden, in EW and LC years (1980-2021)

Годы	Перво- зимье (ПРз) пред- шествую- щей зимы	Снего- таяние первый этап (СТ1)	Дли- тель- ность зимы	Начало лета первый этап (НЛ1)	Дли- тель- ность вес-ны	Начало осени первый этап (НО1)	Дли- тель- ность лета	Перво- зимье (ПРз)	Дли- тель- ность осени
РАННЕ-ТЕПЛЫЕ ГОДЫ, n=11									
1989	30 октября	26 января	88	24 мая	119	23 августа	91	16 ноября	85
1990	16 ноября	29 января	74	26 мая	118	26 августа	92	12 ноября	78
1992	05 декабря	29 февраля	86	08 июня	100	30 августа	83	24 октября	55
1995	03 ноября	14 февраля	103	31 мая	107	20 августа	81	01 ноября	73
2007	20 января	02 марта	41	31 мая	90	05 сентября	97	05 ноября	61
2008	05 ноября	07 марта	123	30 мая	84	02 сентября	95	08 декабря	97
2014	11 января	09 февраля	29	25 мая	106	02 сентября	100	22 декабря	111
2015	22 декабря	20 февраля	60	04 июня	105	27 августа	84	27 декабря	122
2016	27 декабря	27 января	31	25 мая	119	27 августа	94	02 ноября	67
2019	26 ноября	15 марта	109	27 мая	73	25 августа	90	26 января	154
2020	26 января	09 февраля	14	4 июня	116	01 сентября	89	07 декабря	97
X	09 декабря	16 февраля	69	30 мая	103	28 августа	91	27 ноября	91
ПОЗДНЕ-ХОЛОДНЫЕ ГОДЫ, n=12									
1980	29 ноября	28 марта	120	10 июня	74	24 августа	75	29 октября	66
1982	12 ноября	13 марта	121	15 июня	94	26 августа	72	08 декабря	104
1985	10 ноября	14 марта	124	15 июня	93	04 сентября	81	16 ноября	73
1987	03 декабря	22 марта	109	11 июня	81	30 августа	80	07 ноября	69
1996	01 ноября	24 марта	144	09 июня	77	08 сентября	91	11 декабря	94
1998	17 ноября	27 марта	130	08 июня	73	03 сентября	87	08 ноября	66
2003	03 ноября	23 марта	140	09 июня	78	03 сентября	86	06 декабря	94
2004	06 декабря	13 марта	98	05 июня	84	30 августа	86	17 ноября	79
2006	04 декабря	29 марта	115	04 июня	67	26 августа	83	20 января	147
2011	21 ноября	01 апреля	131	03 июня	63	26 августа	84	01 января	128
2012	01 января	02 апреля	92	01 июня	60	28 августа	88	28 ноября	92
2013	28 ноября	04 апреля	127	31 мая	57	01 сентября	93	11 января	132
X	24 ноября	24 марта	120	08 июня	75	30 августа	84	04 декабря	95

В таблице 3 обозначено: X - среднее значение.

Благоприятным для растений является более продолжительный период вегетации, наблюдающийся в ранне-тёплые циклы. Удлинение вегетационного сезона происходит в первую очередь за счет более раннего его начала в ранне-теплые годы, что обусловлено самим принципом их выделения, основанным на отклонении в сроках зацветания ольхи серой от нормы. Кроме того, в ранне-теплые годы на неделю позже наступает феноэтап «Первозимье». Обращает на себя внимание, что в ранне-тёплые годы резко сокращается продолжительность зимы, в среднем на 52 сут. или почти на два месяца. Сюда попали все очень короткие и рекордные годы, когда продолжительность зимнего периода была минимальной (зима 2019-2020 гг. - 14 сут.). Наоборот, в поздне-холодные годы зимний период удлиняется (до 140 сут. зимой 2002/03). В годы ранне-тёплые заметно удлиняется весенний период, в среднем на 28 сут. и увеличивается продолжительность лета - за счет более раннего его начала, в среднем на 7 сут. Заметно отличаются даты наступления сезонов года. Так, в ранне-теплые годы весна начинается в среднем 16 февраля, а в годы поздне-холодные - 24 марта. Осенние периоды близки между собой (продолжительность 91 и 95 сут. соответственно). Можно заметить, что на динамику осенних фенофаз влияют другие закономерности. Ритмика отмирания ассимиляционного аппарата осенью больше подвержена воздействию заморозков, а не общего хода снижения температуры (Фирсов, Фадеева, 2013). В целом осенью коррелирует с биоритмикой весенне-летних подсезонов только динамика созревания плодов. В ритмике отмирания листьев нет таких корреляций с предшествующими феноэтапами года, на что обращал внимание ещё Н. Е. Булыгин (1980).

Начиная с XIX века много попыток было сделано, чтобы распределить растения на категории устойчивости для садоводческих целей. Проблема районирования территории России с точки зрения ассортимента интродуцированных древесных растений, устойчивых в той или иной зоне, не нова и ей уделялось внимание дендрологами России и бывшего СССР. В связи с интенсивной интродукцией инорайонного растительного материала вопрос об устойчивости и классификации интродуцентов по климатическим зонам широко обсуждался и обсуждается и среди зарубежных дендрологов (Magarey et al., 2008; Prokhorov et al., 2012; Daly et al., 2012). Карты зон устойчивости основываются на климатических параметрах, обычно по зимним изотермам (линиям с одинаковыми температурами воздуха). Соответственно, области со сходным климатом объединяются вместе. Они неизбежно слишком широкие и приблизительные. Микроклимат в этом случае вообще не учитывается. Но в целом такая классификация – полезное руководство для общих представлений и предварительного отбора растений. Величины, близкие к абсолютному минимуму, встречаются редко, один раз в 50-80 лет, поэтому на практике агроклиматологии в качестве показателя морозоопасности пользуются средними из абсолютных минимумов температуры воздуха. Этот же климатический показатель был принят за основу Альфредом Редером (Rehder, 1949), чей широко известный справочник до сих пор является настольной книгой для дендрологов стран умеренного климата. Справочными данными Редера до сих пор пользуются российские дендрологи для предварительной оценки адаптационных возможностей интродуцентов, так как Редер испытал наибольшее число древесных видов в мире на тот момент, и его данные очень полные и до сих пор актуальные. В его справочнике приводится карта территории США и Канады с выделением 7 зон зимней устойчивости древесных растений. Для более чем 2550 видов деревьев и кустарников отмечается возможная зона их культуры в открытом грунте. Зоны выделены Департаментом сельского хозяйства США, основываясь на средней из минимальных температур за период 20 лет. Позже эта система была повторно проанализирована, уточнена и дополнена (Warda, 1995; Beckett, 1995). Сейчас признаются 11 зон: зона 1 – Арктика, 10 и 11 – тропики (южная часть п-ова Флорида). В последние десятилетия система зон устойчивости была распространена и на Западную Европу. Садоводы и дендрологи в США и Канаде вскоре после ее создания приняли концепцию зон устойчивости растений со всеми ее преимуществами и недостатками. При этом нельзя недооценивать влияние на растения и многих других факторов, как-то: летнее тепло, годовое количество осадков и их распределение по сезонам, выпадение зимних осадков в виде снега, интенсивность зимнего солнца, ветер и различные почвенные факторы. Некоторые интродуценты, как например, виды семейства Ericaceae, требовательны к кислотности почвы, в противном случае они могут погибнуть, невзирая на самый подходящий климат. При культуре низкорослых растений на садовых участках, особо ценных экземпляров в арборетумах и ботанических садах, возможно повышение их устойчивости за счет укрытия, выбора мест посадки, надлежащей агротехники. Во всех же остальных случаях нужно ориентироваться на проверенные и зимостойкие растения (Фирсов, 2003; Фирсов, Фадеева, 2020). Таким образом, самая широко используемая карта зон устойчивости – это та, что разработана Департаментом сельского хозяйства США (US Department of Agriculture, USDA). Она основывается на очень простой идее, используя среднeminимальные температуры воздуха, разделённые на изотермы через 10° по шкале Фаренгейта. Иногда подразделяется на интервалы через 5 °F по той же шкале, с наименованием «а» для более холодной половины зоны и «b» - для более тёплой подзоны. Европейцы уже давно

перевели градусы по шкале Фаренгейта в более понятную для себя шкалу Цельсия (таблица 4).

Таблица 4. Зоны устойчивости древесных растений Департамента сельского хозяйства США

Table 4. USDA Hardiness Zones of woody plants

Зона устойчивости	Т _о по шкале Фаренгейта	Т _о по шкале Цельсия
1	Ниже -50 °F	Ниже -45,6 °C
2a	-50 до -45 °F	-45,5 до -42,8 °C
2b	-45 до -40 °F	-42,7 до -40,0 °C
3a	-40 до -35 °F	-39,9 до -37,3 °C
3b	-35 до -30 °F	-37,2 до -34,5 °C
4a	-30 до -25 °F	-34,4 до -31,7 °C
4b	-25 до -20 °F	-31,6 до -28,9 °C
5a	-20 до -15 °F	-28,8 до -26,2 °C
5b	-15 до -10 °F	-26,1 до -23,4 °C
6a	-10 до -5 °F	-23,3 до -20,6 °C
6b	-5 до 0 °F	-20,5 до -17,8 °C
7a	0 до 5 °F	-17,7 до -15,0 °C
7b	5 до 10 °F	-14,9 до -12,3 °C
8a	10 до 15 °F	-12,2 до -9,5 °C
8b	15 до 20 °F	-9,4 до -6,7 °C
9a	20 до 25 °F	-6,6 до -3,9 °C
9b	25 до 30 °F	-3,8 до -1,2 °C
10a	30 до 35 °F	-1,1 до 1,6 °C
10b	35 до 40 °F	1,7 до 4,4 °C
11	Выше 40 °F	Выше 4,5 °C

Эту систему уже давно применяют в Австралии и Новой Зеландии. И за многие годы, во многом путем прямых проб и ошибок, большинство видов деревьев и кустарников были оценены с точки зрения их отнесения к той или иной зоне (Фирсов, Фадеева, 2020). Известно, что губительное действие на растения оказывает не средний уровень зимних температур, а наиболее суровые, хотя и кратковременные морозы. В таблице 5 приводится абсолютно минимальная температура воздуха в Санкт-Петербурге за каждый из ранне-тёплых и поздне-холодных лет.

В нашем случае разница в среднемноголетнем значении в 7,2° очень заметная. Это означает, что С.-Петербург в ранне-тёплые годы находится в зоне 6, в более тёплой её подзоне 6 б, а в поздне-холодные годы перемещается в зону 5, в более холодную подзону 5а совсем с другими условиями перезимовки и существования растений. Это, конечно, может сказаться и на состоянии растений, и на результатах их перезимовки в разные биоклиматические циклы. В этих зонах предполагается и разный ассортимент деревьев и кустарников для разведения. В случае дальнейшего потепления климата при преодолении рубежа 17,8° (до чего осталось 1,5°), С.-Петербург перейдёт в 7 зону, куда входят многие виды деревьев и кустарников, которые сейчас считаются оранжерейно-комнатными растениями. И целый ряд из них даже и не пытались испытывать в открытом грунте. Можно заметить, что минимальная температура -8,9° зимой 2019/20 г. - абсолютный рекорд за весь период наблюдений. В эту зиму в Ботаническом саду Петра Великого перезимовал даже *Callitris oblonga* A. et L. С. Rich., представляющий флору Австралии (вымерз следующей зимой).

В таблицах 6 и 7 приводятся списки видов, вымерзших в парке-дендрарии БИН РАН в годы поздне-холодные и ранне-тёплые в 21 веке по актам списания. Интересно посмотреть, есть ли в этом случае

различие, и в какой степени оно проявляется.

Таблица 5. Абсолютный минимум температуры воздуха в Санкт-Петербурге в ранне-тёплые и поздне-холодные годы в период 1980-2021 гг.

Table 5. Absolute minimum of air temperature at Saint-Petersburg in early-warm and late-cold years in 1980-2021

РАННЕ-ТЁПЛЫЕ ГОДЫ, n=11				ПОЗДНЕ-ХОЛОДНЫЕ ГОДЫ, n=12			
Год	Зимний период	T °C	Дата	Год	Зимний период	T °C	Дата
1989	1988-89	-23,1	02.01.89	1980	1979-80	-25,8	11.02.80
1990	1989-90	-22,9	15.01.90	1982	1981-82	-27,6	10.01.82
1992	1991-92	-18,1	21.02.92	1985	1984-85	-30,0	21.01.85
1995	1994-95	-19,1	19.12.94	1987	1986-87	-34,7	10.01.87
2007	2006-07	-22,8	08.02.07	1996	1995-96	-26,7	10.02.96
2008	2007-08	-15,2	06.01.08	1998	1997-98	-22,9	15.12.97
2014	2013-14	-20,3	23.01.14	2003	2002-03	-28,8	11.01.03
2015	2014-15	-14,7	22.01.15	2004	2003-04	-21,5	21.01.04
2016	2015-16	-24,5	08.01.16	2006	2005-06	-27,8	19.01.06
2019	2018-19	-22,5	22.01.19	2011	2010-11	-26,8	18.02.11
2020	2019-20	-8,9	05.02.20	2012	2011-12	-22,5	02.02.12
-	-	-	-	2013	2012-13	-22,3	19.01.13
X	-	-19,3	-	X	-	-26,5	-

В таблице 5 обозначено: X - среднее значение.

Таблица 6. Древесные растения, погибшие в Ботаническом саду Петра Великого в поздне-холодные годы 21 века

Table 6. Woody plants died at Peter the Great Botanic Garden at 21-st century in late-cold years

Название растений	Участок	2003	2004	2006	2011	2012	2013
<i>Acanthopanax sessiliflorus</i> (Rupr. et Maxim.) Seem.	18	-	-	-	+	-	-
<i>Acanthopanax simonii</i> (Decne.) C. K. Schneid.	91	-	--	-	-	-	+
<i>Acer cissifolium</i> (Siebold et Zucc.) C. Koch	9	-	--	-	+	-	-
<i>Acer glabrum</i> Torr.	83	-	-	+	-	-	-
<i>Acer saccharum</i> Marshall subsp. <i>nigrum</i> (Michx. f.) Desmarais	1	+	-	-	-	-	-
<i>Acer sieboldianum</i> Miq.	19	-	-	+	-	-	-
<i>Acer triflorum</i> Kom.	19	-	-	+	-	-	-
<i>Acer velutinum</i> Boiss.	19	-	+	-	-	-	-
<i>Artemisia santonica</i> L.	99	-	-	-	-	+	-
<i>Atragene speciosa</i> Weinm.	101	-	-	-	-	+	-
<i>Berberis sphaerocarpa</i> Kar. et Kir.	49	-	-	+	-	-	-
<i>Berberis x emarginata</i> Willd.	37	-	-	-	+	-	-
<i>Caragana pygmaea</i> (L.) DC.	7	-	-	-	+	-	-
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	99	-	-	-	-	+	-
<i>Cotoneaster multiflorus</i> Bunge	26	-	+	-	-	-	-

<i>Cotoneaster roseus</i> Edgew.	11	-	-	+	-	-	-
<i>Crataegus champlainensis</i> Sarg.	42	-	+	-	-	-	-
<i>Crataegus remotilobata</i> Raikova ex Popov	8	-	-	-	-	+	-
<i>Deutzia x rosea</i> (Lemoine) Rehd.	17	-	+	-	-	-	-
<i>Deutzia scabra</i> Thunb.	67	-	+	-	-	-	-
<i>Erica scoparia</i> L.	99	-	-	-	-	-	+
<i>Exochorda korolkowii</i> Lavall.	101	-	-	+	-	-	-
<i>Exochorda giraldii</i> Hesse	51	-	-	-	-	-	+
<i>Fagus orientalis</i> Lipsky	17	-	-	+	-	-	-
<i>Fraxinus quadrangulata</i> Michx.	12	-	+	-	-	-	-
<i>Laburnum anagyroides</i> Medik. 'Alsingeri'	13	-	+	-	-	-	-
<i>Laburnum anagyroides</i> Medik. 'Quercifolia'	50	+	-	-	-	-	-
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	91	-	-	-	-	+	-
<i>Ligustrum ovalifolium</i> Hassk.	1	+	-	-	-	-	-
<i>Ligustrum ovalifolium</i> Hassk.	17	-	+	-	-	-	-
<i>Lonicera dioica</i> L.	10	-	-	-	+	-	-
<i>Lonicera longipes</i> (Maxim.) Pojark.	94	-	+	-	-	-	-
<i>Osmaronia cerasiformis</i> (Torr. et Gray) Greene	17	-	-	+	-	-	-
<i>Persica vulgaris</i> Mill. 'Plena'	94	-	-	-	-	-	+
<i>Philadelphus purpurascens</i> (Koehne) Rehder	50	-	-	+	-	-	-
<i>Pinus armandii</i> Franch.	98	+	-	-	-	-	-
<i>Platyclusus orientalis</i> (L.) Franco	142	+	-	-	-	-	-
<i>Platyclusus orientalis</i> (L.) Franco	91	+	-	-	-	-	-
<i>Populus tremula</i> L. var. <i>dauriana</i> (Dode) C. K. Schneid.	22	-	-	-	-	+	-
<i>Prunus sogdiana</i> Vass.	13	-	-	+	-	-	-
<i>Prunus sogdiana</i> Vass.	8	-	-	+	-	-	-
<i>Pterostyrax hispida</i> Siebold et Zucc.	91	-	-	+	-	-	-
<i>Quercus dentata</i> Thunb.	7	-	+	-	-	-	-
<i>Rhamnus ussuriensis</i> Ja. Vassil.	23	-	-	-	-	+	-
<i>Rhododendron micranthum</i> Turcz.	119	+	-	-	-	-	-
<i>Ribes latifolium</i> Jancz.	101	-	-	-	-	+	-
<i>Robinia luxurians</i> (Dieck) C. K. Schneid.	8	-	+	-	-	-	-
<i>Rosa gallica</i> L. 'Scharlachglut'	57	+	-	-	-	-	-
<i>Rosa kamtschatica</i> Vent.	1	-	-	-	-	+	-
<i>Salix integra</i> Thunb. 'Pendula'	119	-	-	-	-	+	-
<i>Salix matsudana</i> Koidz. 'Tortuosa'	91	-	+	-	-	-	-
<i>Salix purpurea</i> L. 'Gracilis'	5	-	-	+	-	-	-
<i>Sambucus williamsii</i> Hance	131	+	-	-	-	-	-
<i>Schisandra grandiflora</i> (Wall.) Hook. et Thoms. var. <i>rubriflora</i> (Rehd. et Wils.) C. K. Schneid.	127	-	-	+	-	-	-
<i>Spiraea mongolica</i> Maxim.	107	-	-	-	-	+	-
<i>Weigela decora</i> (Nakai) Nakai	101	+	-	-	-	-	-

<i>Weigela decora</i> (Nakai) Nakai	91	+	-	-	-	-	-
<i>Всего: 57</i>		11	12	14	5	11	4

В поздне-холодные годы 21 века вымерзли полностью и удалены из коллекции 57 экземпляров, от 14 после зимы 2005/06 г. до 4 - после зимы 2012/13 г. Теперь посмотрим, вымерзли ли и сколько деревьев и кустарников в ранне-тёплые годы (таблица 7).

Таблица 7. Древесные растения, вымерзшие в Ботаническом саду Петра Великого в ранне-тёплые годы 21 века

Table 7. Woody plants died at Peter the Great Botanic Garden at 21-st century in early-warm years

Название растений	Участок	2007	2008	2014	2015	2016	2019	2020
<i>Acer negundo</i> L. subsp. <i>californicum</i> (Torrey et Gray) Wesmael	69	+	-	-	-	-	-	-
<i>Acer opalus</i> Mill.	19	-	-	+	-	-	-	-
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench f. <i>pinnatifida</i> Wahlenb.	90	-	-	-	+	-	-	-
<i>Aucuba albopunctifolia</i> E. T. Wang	98	-	-	-	-	-	-	+
<i>Aucuba japonica</i> Thunb. 'Variegata'	99	-	-	-	-	-	-	+
<i>Berberis bretschneideri</i> Rehder	11	-	-	+	-	-	-	-
<i>Berberis buxifolia</i> Lam.	99	-	-	-	-	+	-	-
<i>Berberis x ottawensis</i> C. K. Schneid. 'Purpurea'	77	+	-	-	-	-	-	-
<i>Cotoneaster divaricatus</i> Rehder et Wils.	49	+	-	-	-	-	-	-
<i>Cotoneaster foveolatus</i> Rehder et Wils.	49	+	-	-	-	-	-	-
<i>Crataegus maximowiczii</i> C. K. Schneid.	85	+	-	-	-	-	-	-
<i>Dipteronia sinensis</i> Oliv.	101	-	-	-	-	+	-	-
<i>Erica carnea</i> L.	130	-	-	-	-	+	-	-
<i>Genista suanica</i> Schischk.	99	-	-	-	-	+	-	-
<i>Genista tinctoria</i> L. 'Royal Gold'	91	-	-	-	+	-	-	-
<i>Hedera pastuchovii</i> Woronow	126	-	-	-	-	+	-	-
<i>Hydrangea petiolaris</i> Siebold et Zucc.	71	+	-	-	-	-	-	-
<i>Idesia polycarpa</i> Maxim.	99	-	-	-	-	+	-	-
<i>Ilex rugosa</i> Fr. Schmidt	98	-	-	-	-	-	-	+
<i>Kolkwitzia amabilis</i> Graebn.	108	-	+	-	-	-	-	-
<i>Laburnum anagyroides</i> Medik. 'Quercifolium'	57	+	-	-	-	-	-	-
<i>Leycesteria formosa</i> Wall.	99	-	-	-	+	-	-	-
<i>Lonicera ruprechtiana</i> Regel	118	-	-	-	-	+	-	-
<i>Louiseania ulmifolia</i> (Franch.) Pachom.	140	-	-	-	-	-	-	+
<i>Padus maackii</i> (Rupr.) Kom.	36	+	-	-	-	-	-	-
<i>Phlomis fruticosa</i> L.	99	-	-	-	-	-	+	-
<i>Picea orientalis</i> (L.) Peterm.	77	+	-	-	-	-	-	-
<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	77	-	+	-	-	-	-	-
<i>Platycrater arguta</i> Siebold et Zucc.	99	-	-	-	+	-	-	-
<i>Platycrater arguta</i> Siebold et Zucc.	98	-	-	-	-	-	-	+
<i>Prinsepia sinensis</i> (Oliv.) Bean	130	-	-	-	-	+	-	-
<i>Rhamnus alpina</i> L.	48	+	-	-	-	-	-	-

<i>Rhamnus alpina</i> L.	8	-	-	+	-	-	-	-
<i>Rhodotypos scandens</i> (Thunb.) Makino	91	-	-	-	+	-	-	-
<i>Ribes aureum</i> Pursh	18	-	-	+	-	-	-	-
<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	140	+	-	-	-	-	-	-
<i>Ruta graeolens</i> L.	98	-	-	-	-	-	+	-
<i>Salix schwerinii</i> E. Wolf	34	-	+	-	-	-	-	-
<i>Sambucus canadensis</i> L. 'Acutiloba'	132	+	-	-	-	-	-	-
<i>Staphylea colchica</i> Stev.	107	-	-	-	-	-	+	-
<i>Vitis labrusca</i> L.	91	-	-	-	-	+	-	-
<i>Vitis riparia</i> Michx. 'Severnij Belij'	113	-	-	-	-	-	+	-
Всего: 42	-	12	3	4	5	9	4	5

Во втором случае число погибших растений в ранне-тёплые годы меньше - 42 шт., от 12 шт. после зимы 2006/07 г. до 3 шт. в следующем 2008 г. Тенденция к уменьшению числа вымерзших растений в ранне-тёплые годы по сравнению с поздне-холодными наблюдается. Хотя деревья и кустарники могут вымерзнуть при любой метеорологической ситуации, и в нормальные, и даже в мягкие зимы.

Следует иметь в виду, что в последние годы появляется всё более случаев гибели растений не от вымерзания, а от болезней - корневых гнилей и гнилей ствола, связанных с фитотфторой и грибами-базидиомицетами, и другими специфическими возбудителями.

Биоклиматическая цикличность имеет место на фоне изменений климата. Но условия существования растений в ранне-тёплые и поздне-холодные годы меняются. Если посмотреть этот 42-летний ряд, он заметно неоднороден. Если в начале 1980-х гг. преобладали поздне-холодные годы с самыми жёсткими условиями для перезимовки растений, то во втором-третьем десятилетиях 21 в. (после 2007 г.) преобладают ранне-тёплые годы. А у поздне-холодных (2011, 2012, 2013 гг.) термическая характеристика совсем другая, чем в начале этого ряда.

С потеплением климата и повышением теплообеспеченности улучшаются условия перезимовки, уменьшается повреждаемость древесных растений морозами. Но одновременно это может способствовать и провоцировать распространение болезней и вредителей, создавать более лучшие условия для смещения границ многих возбудителей и переносчиков болезней и продвижения их на север. Так, например, в случае гибели деревьев она часто объясняется абиотическими факторами или физиологическими причинами — вымоканием, засухой, обморожением, воздействием высоких и слишком низких температур, загрязнением воздуха, кислотными дождями, нехваткой микро- и макроэлементов, и т.п. А на самом деле, зачастую, это действие почвообитающих фитотфтор, агентов невидимой смерти. Подсчитано, что в 66 % всех болезней тонких корней и более 90 % гнилей корневой шейки виноваты фитотфторы. Дело усугубляется тем, что эти фитопатогены обычно не обнаруживаются, что приводит к неверным диагнозам и, следовательно, к накоплению и распространению инфекции. Чаще всего истинные причины, то есть фитотфторы, маскируются вторичными паразитами или даже сапротрофами. Фитотфторы в виде мельчайших покоящихся структур хламидоспор и ооспор (20–50 мкм), попадают с растительными остатками в почву, где могут сохраняться от 3 до 20 лет и более. При благоприятных условиях—подходящей влажности, почвенной температуре выше +10° и наличии чувствительного растения, покоящиеся структуры прорастают, образуя либо сразу зооспорангии, либо мицелий—вегетативное тело, на котором уже формируется множество органов бесполого размножения — зооспорангии. Происходящие изменения климата с повышением температуры воздуха и почвы, увеличением осадков и повышением влажности, резким увеличением флуктуаций климатических факторов неизбежно воздействуют и на активность, жизненный цикл и сохранение патогенных организмов (Веденяпина, Фирсов, 2014; Веденяпина и др., 2014 а, б).

Зима 1986/87 г. была последней в 20 веке, которая вызвала столь массовые обмерзания древесных растений в Санкт-Петербурге. Летом по шкале П. И. Лапина нами были зафиксированы результаты обмерзания более 1000 видов и форм древесных растений (Фирсов, Фадеева, 2009). Основная особенность той зимы - рекордно низкие температуры января. Температура воздуха стала неуклонно падать, в среднем на 2,1° в сутки, понизившись за 11 сут. более чем на 23°. Десятого января 1987 г. среднесуточная температура достигла рекордной отметки -33,6°. Критические морозы, когда среднесуточная температура воздуха превышала -30°, держались в течение четырёх суток.

Минимальная температура 10 января (-34,7°) - самая холодная во второй половине 20 века. 19 видов погибли в течение этой зимы (*Abies nordmanniana* и др.). Ещё у 21 вида отмечалась гибель части экземпляров (*Morus alba*, *Juglans regia* и др.). Кроме погибших, более чем у половины таксонов парка имело место в той или иной степени обмерзание побегов старше одного года. У многих из них обмёрзли скелетные ветви, надземная часть до уровня снега или корневой шейки, 40 из них погибли на следующий год, выпад продолжался и в последующие годы. Так, *Vitis cordifolia* был получен черенками в 1956 г., в 1987 г. он обмёрз до корневой шейки и окончательно погиб на следующий год в возрасте 32 лет (таблица 8). В таблице 8 приводятся результаты обмерзания деревьев и кустарников в парке БИН в поздне-холодные (1987 и 2013 г.) и ранне-тёплые (2019 и 2020) годы в баллах по шкале П. И. Лапина. Индекс «с» означает, что обмёрзли скелетные ветви (то есть значительная часть кроны).

Таблица 8. Обмерзание древесных растений в Ботаническом саду Петра Великого в поздне-холодные и ранне-тёплые годы

Table 8. Frost damages of woody plants at Peter the Great Botanic Garden in LC and EW years

Название растений	Годы ПХ		Годы РТ	
	1987	2013	2019	2020
<i>Abies firma</i> Siebold et Zucc.	4с	1	1	1
<i>Abies nordmanniana</i> (Stev.) Spach	7	1	1	1
<i>Acer carpiniifolium</i> Siebold et Zucc.	6	2	1	1
<i>Acer cissifolium</i> Siebold et Zucc.	7	1	1	1
<i>Acer hyrcanum</i> Fisch. et C. A. Mey.	4-7	1	1	1
<i>Acer opalus</i> Mill.	4с-6	1	1	1
<i>Actinidia arguta</i> (Siebold et Zucc.) Planch. ex Miq.	4с-7	2	2	2
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	6	4с	2	2
<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem.	4-7	1	1	1
<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	7	2	2	1
<i>Carpinus caroliniana</i> Walt.	4с-5	4с	2	1
<i>Carpinus cordata</i> Blume	4с	1	1	1
<i>Catalpa speciosa</i> (Warder ex Barney) Engelm.	4-5	2	2	2
<i>Cerasus sachalinensis</i> (Fr. Schmidt) Kom.	4с	1	1	1
<i>Chionanthus virginicus</i> L.	4с	1	1	1
<i>Cydonia oblonga</i> Mill.	4с	2	1	1
<i>Deutzia amurensis</i> (Regel) Airy-Shaw	4-7	1	1	1
<i>Eleutherococcus henryi</i> Oliv.	5-7	2	2	1
<i>Fagus orientalis</i> Lipsky	4с-5	1	1	1
<i>Fagus sylvatica</i> L.	4-4с	1	1	1
<i>Forsythia x intermedia</i> Zabel	5	4	1	1
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	4с-6	1	1	1
<i>Gymnocladus dioica</i> (L.) C. Koch	6	2	2	2
<i>Juglans regia</i> L.	4с-7	1	1	1
<i>Laburnum alpinum</i> (Mill.) Berchtold et Presl	4с	1	1	1
<i>Ligustrum ovalifolium</i> Hassk.	5	2	2	2
<i>Malus sieboldii</i> (Regel) Rehder	6	2	1	1
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et W. C. Cheng	4-7	2-3	2	2
<i>Morus alba</i> L.	4-7	2-4	1-2	1
<i>Oplopanax elatus</i> (Nakai) Nakai	7	1	1	1
<i>Padellus mahaleb</i> (L.) Vass.	4с-5	2	1	1

<i>Pinus funebris</i> Kom.	4	1	1	1
<i>Prinsepia sinensis</i> (Oliv.) Bean	4с-6	2	2	2
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	4с-7	2	2	2
<i>Sambucus nigra</i> L.	4с-6	2	2	2
<i>Weigela hortensis</i> (Siebold et Zucc.) C. Koch	6	4с	2	2

Год 2013, так же как и 1987, относится к поздне-холодным. Но термические условия его уже другие. Абсолютный минимум температуры воздуха зимой 2012/13 г. достигал только $-22,3^{\circ}$. А температура января 2013 г. составила всего $-6,1^{\circ}$, в отличие от января 1987 г., когда она опускалась до $-17,9^{\circ}$. И повреждения зимними морозами были заметно меньше чем в 1987 г. Тем не менее, в целом существует и до сих пор сохраняется различие между обмерзанием деревьев и кустарников в поздне-холодные и ранне-тёплые годы. В случае холодных и аномально суровых зим, которые обычно и приходится на поздне-холодные годы, различие становится очень заметным. В других случаях оно нивелируется, но в целом не исчезает. При этом в ранне-тёплые годы большинство видов вообще перестают обмерзать (балл 1) или у них балл обмерзания не более 2. При этом существуют виды, преимущественно кустарники более южного происхождения, такие как вейгелы, с длительно растущими побегами, которые могут не вызревать до осени и уходят в зиму с растущими, не одревесневшими концами побегов. Такие растения обычно обмерзают ежегодно, невзирая на особенности вегетационного сезона и характеристику зимних условий. В целом в ранне-тёплые зимы подавляющее большинство видов парка имеют балл обмерзания 1-2. И лишь у единичных особей обмерзают побеги старше одного года (если это не относится к усыханию от фитопфтор или других болезней).

В начале 1970-х гг. фенологи и климатологи обратили внимание на тенденцию к потеплению климата Санкт-Петербурга (Булыгин, Довгулевич, 1974). Заметное потепление началось с 1989 г., который стал самым тёплым ($7,6^{\circ}$) в истории на тот период времени. В XXI веке потепление климата усилилось, особенно после 2007 г. Зима 2006/07 г. была рекордно короткой и продолжалась лишь 41 день, зато осень длилась почти 5 месяцев (Фирсов и др., 2008). Очень тёплым было лето 2010 г., при рекордно высоких температурах июля ($24,4^{\circ}$). Во втором десятилетии XXI века до конца календарного года зима в отдельные года так и не наступает – отсутствует снежный покров, а некоторые растения продолжают вегетацию. Очевидна тенденция к повышению теплообеспеченности и при сравнении среднегодовой температуры воздуха. Она повысилась на $2,5^{\circ}$ по отношению к норме климата 20 столетия, что можно считать очень значительным потеплением. Год 2015 стал самым тёплым за период наблюдений с середины 18 века: $7,7^{\circ}$ (его позже превзошёл 2020 г.: $8,3^{\circ}$). Заметно потеплела и минимальная температура воздуха (Фирсов, Фадеева, 2020). С потеплением климата в начале XXI века в Санкт-Петербурге заметно увеличилось число видов деревьев и кустарников, достигших репродуктивного состояния. У целого ряда видов впервые за длительный период интродукции было получено семенное потомство: *Acer japonicum* Thunb. (Волчанская и др., 2010); *Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast. (Фирсов и др., 2015); *Fraxinus oxycarpa* M. Bieb. ex Willd.; *Fraxinus pojarkoviana* V. Vassil.; *Cydonia oblonga* Mill. (); *Carpinus orientalis* Mill. (Фирсов, Ткаченко, 2018); *Acer capillipes* Maxim. (Фирсов и др., 2018); *Pyrus zangezura* Firsov G.A. et al., 2017 Maleev (Ткаченко и др., 2019); *Aristolochia macrophylla* Lam. (Ткаченко и др., 2020). У некоторых видов отмечено первое цветение, как, например, у *Decaisnea fargesii* Franch. (Фирсов, 2019).

В таблице 9 приводится список видов, достигших фазы плодоношения в начале третьего тысячелетия, в первые два десятилетия 21 века. При этом многие из них десятки лет до этого находились в вегетативном состоянии. В графе 2 приводится год появления всходов. В графе 3 - год первого плодоношения, в графе 4 обозначен тип БКЦ (ранне-тёплый или поздне-холодный), когда впервые наблюдалось плодоношение (у некоторых видов первое цветение).

В таблицу 9 включены 37 видов. И только в 5 случаях начало плодоношения пришлось на поздне-холодный год. В остальных 86,5 % случаев достижения репродуктивного состояния имели место в ранне-тёплые годы. Это имеет явно положительный эффект. По мнению Н. И. Булыгина, оценивать устойчивость тех или иных видов деревьев и кустарников и перспективность для разведения следует в поздне-холодные годы. А работы, связанные с размножением растений, проводить в ранне-тёплые биоклиматические циклы. Из данных таблицы 9 видно, что ранне-тёплые годы полезны для репродуктивной сферы растений. Однако, как изменяются качества семян и другие характеристики (качество пыльцы, обилие плодоношения и т.д.) в ранне-тёплые и поздне-холодные годы (есть ли различие и каково оно?) - вопрос пока что не изученный, особенно на фоне изменений климата. Известно, что на будущий урожай и качество семян влияет не только уровень температуры, но и

особенности погоды во время цветения. Прежде всего осадки, их количество и продолжительность. А для ветроопыляемых растений может иметь значение и ветровой режим. Поэтому следует проводить дальнейший непрерывный мониторинг. И в своей работе учитывать такое явление, как биоклиматическую цикличность.

Таблица 9. Деревья и кустарники Ботанического сада Петра Великого, достигшие репродуктивного состояния в 2007-2020 г.

Table 9. Trees and shrubs of Peter the Great Botanic Garden reaching the reproductive state in 2007-2020

Название растений	Год посева семян	Год первого плодоношения (или цветения (Цв))	Поздне-холодный или ранне-теплый год (ПХ или РТ)
1	2	3	4
<i>Abies alba</i> Mill.	1971	2013	ПХ
<i>Abies arizonica</i> Merr.	1973	2015	РТ
<i>Abies gracilis</i> Kom.	1986	2015	РТ
<i>Acer capillipes</i> Maxim.	~1995	2014	РТ
<i>Acer cissifolium</i> (Siebold et Zucc.) C. Koch	1999	2019	РТ
<i>Acer griseum</i> Pax	1999	2019	РТ
<i>Acer grosseri</i> Pax	2006	2019	РТ
<i>Acer henryi</i> Pax	2001	2013	ПХ
<i>Acer japonicum</i> Thunb. ex Marray	1999	2015	РТ
<i>Acer mayrii</i> Schwer.	2004	2019	РТ
<i>Acer opalus</i> Mill.	1989	2019	РТ
<i>Acer palmatum</i> Thunb. ex Murray	1981	2007	РТ
<i>Acer pensylvanicum</i> L.	~2001	2015 (Цв.)	РТ
<i>Acer saccharum</i> Marshall subsp. <i>nigrum</i> (Michx. f.) Desmarais	1977	2011	ПХ
<i>Acer velutinum</i> Boiss.	~2008	2015	РТ
<i>Betula medvedievii</i> Regel	1986	2015	РТ
<i>Callicarpa japonica</i> Thunb.	2009	2015 (Цв.)	РТ
<i>Catalpa bungei</i> C. A. Mey.	1997	2007	РТ
<i>Chosenia arbutifolia</i> (Pall.) A. Skvorts.	~1998	2019	РТ
<i>Cladrastis kentukea</i> (Dum.-Cours.) Rudd	1994	2013	ПХ
<i>Cornus walteri</i> Wanger.		2019	РТ
<i>Corylopsis sinensis</i> Hemsl.	2002	2015 (Цв.)	РТ
<i>Corylus colurna</i> L.	~1980	2015	РТ
<i>Crataegus pinnatifida</i> Bunge	~1985	2015	РТ
<i>Cydonia oblonga</i> Mill.	1949	2014	РТ
<i>Euonymus latifolius</i> (L.) Mill.	2011	2020	РТ
<i>Fraxinus oxycarpa</i> Willd.	~1965	2014	РТ
<i>Fraxinus pojarkovianae</i> V. Vasssil.	1980	2015	РТ
<i>Hydrangea robusta</i> Hook. et Thoms.	1996	2014	РТ
<i>Itea virginica</i> L.	~2007	2015 (Цв.)	РТ
<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	1956	2019	РТ
<i>Ostrya carpinifolia</i> Scop.	1999	2019	РТ

<i>Pinus pallasiana</i> D. Don	1960	2007	РТ
<i>Pterocarya stenoptera</i> DC.	1988	2011	ПХ
<i>Pyrus zangezura</i> Maleev	2003	2016	РТ
<i>Rhododendron brachycarpum</i> D. Don subsp. <i>tigerstedtii</i> Nitzelius	2003	2019	РТ
<i>Rhus typhina</i> L.	~2013	2020	РТ

Изменение климата в сторону потепления дает возможность выращивать большее число видов из семян местной репродукции и, в конечном счете, способствовать их акклиматизации и введению в практику городского озеленения. Почему же происходит такой «всплеск» репродуктивных способностей растений, как это видно из данных таблицы 9?

– Этому способствует смягчение зимних температур. Повышение минимальной температуры воздуха уже привело к смещению границ зимней устойчивости древесных растений, и границы зон всё сильнее смещаются к северу и востоку (Фирсов, Хмарик, 2016). Особенно важно повышение зимних температур для тех видов деревьев и кустарников, у которых цветочные почки закладываются летом года, предшествующего цветению. В прошлом у таких видов в холодные зимы они просто вымерзали.

– Значительное удлинение вегетационного сезона (Фадеева, Фирсов, 2010) способствует вызреванию вегетативных побегов, а также плодов и семян. В прошлом в неблагоприятные годы не вызревали семена даже у видов местной флоры (как у *Acer platanoides* L. в 1976 г.).

– Очень важное увеличение безморозного периода, особенно для раннецветущих видов, таких, как *Acer saccharinum* L. (Булыгин, Фирсов, 1985).

Для ряда видов для их развития репродуктивной сферы (например, с востока Северной Америки, как *Carya ovata* (Mill.) K. Koch) важное значение имеют высокие летние температуры. После аномально жаркого лета 2010 г., с так называемым блокирующим антициклоном, на научно-опытной станции БИН РАН «Отрадное» отмечен самосев *Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc. (Фирсов, Хмарик, Трофимук, 2020).

– Возможно, что для насекомоопыляемых видов более высокие температуры воздуха в период цветения оказывают благоприятное влияние на насекомых-опылителей и на возможность опыления.

– Такому «всплеску» способствует и общее увеличение видов культивируемой дендрофлоры. Если после Великой Отечественной войны и в 1980-е гг. коллекция парка-дендрария Ботанического сада Петра Великого Ботанического института имени В. Л. Комарова насчитывала 600-800 видов и форм, то сейчас она превышает 1200 таксонов. Потепление климата значительно расширяет возможности привлечения в культуру многих теплолюбивых видов более южных широт (Ткаченко и др., 2020).

На фоне продолжающегося потепления климата обнаружен самосев целого ряда видов, у которых он ранее не наблюдался (*Carpinus betulus* L., *Chamaecyparis pisifera* (Siebold & Zucc.) Endl., *Cerasus maximowiczii* (Rupr.) Kom. & Aliss., *Spiraea betulifolia* Pall. и многие другие), что является важным показателем адаптации и признаком возможной будущей натурализации вида на этой территории. При этом многие виды могут стать и становятся потенциально инвазионными (Фирсов и др., 2017), что ставит вопросы об их тщательном мониторинге и культуре в контролируемых условиях. Особенности появления и развития самосева у разных видов в ранне-тёплые и поздние-холодные годы - вопрос дальнейших углублённых исследований. При этом надо учитывать, что цикличность существует при любом климате. И интродукторы, садоводы и лесоводы должны учитывать её в своей работе.

На фоне выраженного потепления климата имеет место чередование ранне-тёплых и поздние-холодных биоклиматических циклов или отдельных лет. Когда одни и те же растения обнаруживают совсем разные показатели фенологического биоритма, уровни адаптированности и репродуктивной способности.

Заключение

В Ботаническом саду Петра Великого БИН РАН непрерывный фенологический мониторинг по программе Календаря природы ведётся постоянно с 1980 г. Анализ сроков наступления и продолжительности сезонов за 42 года наблюдений (1980-2021 гг.) показал, что на фоне потепления климата биоклиматическая цикличность проявляется в чередовании ранне-тёплых (1989, 1990, 1992,

1995, 2007, 2008, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020 гг.) и поздне-холодных (1980, 1982, 1985, 1987, 1996, 1998, 2003, 2004, 2006, 2011, 2012, 2013 гг.) лет. Это отражается на зимостойкости и репродуктивной способности древесных растений. Все наиболее суровые и неблагоприятные зимы пришлись на поздне-холодные годы. В ранне-тёплые годы по сравнению с поздне-холодными заметно теплее в самые холодные месяцы года (в феврале на 7,2°, январе на 4,4°). Достаточно заметное различие проявляется и весной, по июнь включительно. Этим создаются лучшие условия для перезимовки растений. В ранне-тёплые годы продолжительность безморозного периода увеличивается на 9 сут. Сокращается продолжительность зимы на 52 сут., за счёт этого удлиняются весенний и летний сезоны.

Весь опыт разведения древесных растений в Санкт-Петербурге на протяжении трёх веков показывает, что здесь основным фактором их выживания являются аномально суровые, или критические зимы. После нормальных и теплых зим у большинства видов деревьев и кустарников, культивируемых в ботанических садах Санкт-Петербурга, обмерзания отсутствуют или не превышают концов годичных побегов. Если последствия теплых зим до последнего времени сказывались в основном на цветении и плодоношении, то после аномально суровых зим, как правило, наблюдается массовая гибель многих видов или сильные обмерзания скелетных ветвей. Все такие зимы за период 1955-2009 гг. приурочены к поздне-холодным биоклиматическим циклам. Небольшой возраст многих деревьев и кустарников, выращиваемых в ботанических садах Санкт-Петербурга, есть результат того, что эти виды неоднократно вводились в культуру в разные периоды времени, и даже могли цвести и плодоносить, но через некоторое время погибали после суровых зим. Многие теплолюбивые экзоты могут существовать здесь только в промежутке между аномально суровыми зимами. В некоторых случаях культура таких растений оправдана. Но для уличного озеленения и массового разведения пригодны лишь наиболее зимостойкие деревья и кустарники. Вот почему особую научную ценность имеет многолетний мониторинг древесных растений в ботанических садах в годы с разной метеорологической ситуацией и в разные биоклиматические циклы. С потеплением климата за последние десятилетия повторяемость критических зим уменьшается, и после аномально-холодной зимы 1986-87 г. подобных зим в Санкт-Петербурге не повторялось, хотя это не исключает вероятности их наступления в будущем.

До сих пор ранне-тёплые годы рассматривались в качестве благоприятной биоклиматической ситуации. Однако, если потепление климата будет продолжаться, то ситуация может измениться и оптимальными для роста и развития древесных растений станут, наоборот, поздне-холодные годы. Поэтому сейчас резко возрастает роль фенологических наблюдений и значение непрерывных рядов дендрофеноиндикаторов.

В деятельности ботанических садов и других интродукционных центров нельзя обойтись без фенологических наблюдений, что позволит выделить феноритмотипы и обрабатывать накопленные ряды. Такие методы исследований, хотя они являются визуальными и относительно простыми, позволяют охватить наблюдениями и сделать оценку для всех или большей части коллекционных фондов. Особую ценность имеют непрерывные ряды наблюдений длиннее 10-15 лет.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания по плановой теме «Коллекции живых растений Ботанического института им. В. Л. Комарова (история, современное состояние, перспективы использования)», номер АААА-А18-118032890141-4.

Литература

Афанасьев С. Л. Возможные причины пульсации и цикличности геологических процессов // Ритмика природных явлений: Тезисы докладов к III совещанию, Ленинград, 30 ноября 1976 г. Л.: Географическое общество СССР, 1976. С. 27—30.

Булыгин Н. Е., Довгулевич З. Н. Некоторые результаты математического анализа вековых фенологических рядов // Межвуз. сб. законч. науч. исслед. работ. Вып. 2. Л.: ЛТА, 1974 а. С. 36—40.

Булыгин Н. Е., Довгулевич З. Н. О фенологической тенденции и цикличности в «вековых» фенологических рядах на Северо-Западе России // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Вып. 3: Межвуз. сб. науч. тр. Л.: ЛТА, 1974 б. С. 25—33.

Булыгин Н. Е. Исследование тенденции и цикличности в фенологических рядах в связи с фитофенологическим прогнозированием на Северо-Западе России // Физико-географич. районир. и прогнозир. Л.: Географич. общ-во СССР, 1975 а. С. 32—36.

- Булыгин Н. Е. Тенденция и цикличность в вековых фенологических рядах // Тезисы 12 Международ. ботан. конгресса. Л.: Наука, 1975 б. С. 179.
- Булыгин Н. Е., Топпер С. М. Сезонная сопряженность фитофеноиндикаторов на фоне циклических колебаний климата // Ритмика природных явлений: Тезисы докладов к III совещанию, Ленинград, 30 ноября 1976 г. Л.: Географическое общество СССР, 1976. С. 144—147.
- Булыгин Н. Е., Бердникова С. В., Михалкина Л. Г. Цикличность в фитоценологических рядах и ее индикационное значение // Лесное хоз-во, лесная, деревообр. и целлюлоз.-бум. пром. Вып. 4.: Межвуз. сборник статей о законч. науч.-исслед. работах. Л.: ЛТА, 1976. С. 8—10.
- Булыгин Н. Е., Топпер С. М. Сравнительная эффективность разных методов фенопрогнозов и их использование в проверке массовой фенологической информации // Докл. IV межведомств. совещ. по фенологич. прогнозир. Л.: Географ. общ-во СССР, 1977. С. 13—17.
- Булыгин Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л.: ЛТА, 1979. 97 с.
- Булыгин Н. Е. Сезонно-ритмическая структура годового цикла развития ландшафта, принципы ее индикации и прогностическое значение // Моделирование и прогнозирование в индикационной дендрофенологии. Л.: ЛТА, 1980. С. 2—44. Деп. в ВИНТИ, № 1033-81 Деп.
- Булыгин Н. Е., Курочкина В. А., Михалкина Л. Г. Исследование корреляционных связей между дендрофеноиндикаторами и последующей теплообеспеченностью вегетационного сезона // Моделирование и прогнозирование в индикационной дендрофенологии. Л.: ЛТА, 1980. С. 62—68. Деп. в ВИНТИ, № 1033-81 Деп.
- Булыгин Н. Е. Биоклиматическая цикличность и зимостойкость древесных интродуцентов // Тез. докл. VIII Дендрол. Конгресса соц. стран. Тбилиси, 1982а. С. 219.
- Булыгин Н. Е. Биологические основы дендрофенологии. Л.: ЛТА, 1982б. 80 с.
- Булыгин Н. Е., Фирсов Г. А. Клен серебристый в Ленинграде и перспективы его использования в озеленении на Северо-Западе РСФСР. Л.: ЛТА, 1985. 31 с. Деп. в ВИНТИ, № 6296-85 Деп.
- Булыгин Н. Е. Полтора века фенологического мониторинга в Лесном // Известия Санкт-Петербургской Лесотехнической академии. Вып. 4 (162). СПб., 1996а. С. 166—175.
- Булыгин Н. Е. Короткопериодные колебания климата и интродукция растений // Труды первой Всероссийской конференции по ботаническому ресурсоведению, 25-30 ноября 1996 года. СПб., 1996б. С. 113.
- Булыгин Н. Е., Фирсов Г. А. Биоклиматическая цикличность и адаптация древесных растений муссонного климата при интродукции их на Северо-Запад России // Материалы Международ. конф., посвящ. 50-летию Бот. сада – ин-та ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 157—160.
- Веденяпина Е. Г., Фирсов Г. А. Невидимые фитофторы // Питомник и частный сад. 2014. № 2. С. 40—45.
- Веденяпина Е. Г., Волчанская А. В., Малышева В. Ф., Малышева Е. Ф., Фирсов Г. А. Почвообитающие виды рода *Phytophthora* в Ботаническом саду БИН РАН. I. Первые находки *Ph. citricola*, *Ph. plurivora* и *Ph. queercina* в России // Микология и фитопатология. 2014а. Т. 48. Вып. 4. С. 263—273.
- Веденяпина Е. Г., Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Воробьев Н. И. Почвообитающие виды рода *Phytophthora* в Ботаническом саду БИН РАН. II. Результаты двухлетнего мониторинга // Микология и фитопатология. 2014б. Т. 48. Вып. 5. С. 322—332.
- Волчанская А. В., Фирсов Г. А., Лаврентьев Н. В. Клён японский (*Acer japonicum* Thunb.) в Санкт-Петербурге // Вестник ОрелГАУ. 2010. № 2 (23). С. 66—72.
- Давитая Ф. Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. Л.: Гидрометеоиздат, 1964. 132 с.
- Лапин П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции // Бюлл. ГБС. 1967. Вып. 65. С. 13—18.

Максимов Е. В. Ритмичность природных явлений // Ритмика природных явлений: Тезисы докладов к III совещанию, Ленинград, 30 ноября 1976 г. Л.: Географическое общество СССР, 1976. С. 5—8.

Ткаченко К. Г., Фирсов Г. А., Яндовка Л. Ф., Волчанская А. В., Староверов Н. Е., Грязнов А. Ю. Груша зангезурская (*Pyrus zangezura*, Rosaceae) в Санкт-Петербурге // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. Вып. 3. С. 12—18.

Ткаченко К. Г., Фирсов Г. А., Волчанская А. В. Качество семян *Aristolochia macrophylla* Lam. и *A. manshuriensis* Kom. в Санкт-Петербурге // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 2. С. 14—22.

Оль А. И. Ритмичность воздействия солнечной активности на ландшафтную оболочку Земли // Ритмика природных явлений: Тезисы докладов к III совещанию, Ленинград, 30 ноября 1976 г. Л.: Географическое общество СССР, 1976. С. 15—17.

Ржонскицкий В. Б. Приливы на Солнце и их влияние на геофизические процессы // Ритмика природных явлений: Тезисы докладов к III совещанию, Ленинград, 30 ноября 1976 г. Л.: Географическое общество СССР, 1976. С. 23—27.

Фадеева И. В., Фирсов Г. А. Индикационное значение дендрофенологического ряда зацветания *Alnus incana* в феностанции Санкт-Петербургской лесотехнической академии // Дендрология в начале XXI века: Сборник материалов Международных научных чтений памяти Э. Л. Вольфа, 6-7 октября 2010 года, Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия им. С. М. Кирова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2010. С. 210—214.

Фирсов Г. А. К проблеме дендрологического районирования территории Северо-Запада России // Бюлл. ГБС. Вып. 185. 2003. С. 3-8.

Фирсов Г. А. Памяти Николая Евгеньевича Булыгина (12 VIII 1924 – 22 V 2002) // Бот. журн. 2004. Т. 89. № 3. С. 186—190.

Фирсов Г. А., Бялт В. В. Обзор древесных экзотов, дающих самосев в г. Санкт-Петербурге (Россия) // Российский журнал биологических инвазий. 2015. № 4. С. 129—152.

Фирсов Г. А., Ткаченко К. Г., Лаврентьев Н. В. Инвазионный потенциал *Quercus rubra* L. в Санкт-Петербурге // Вестник Удмуртского гос. университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2017. Т. 27. Вып. 3. С. 297—305.

Фирсов Г. А., Ярмишко В. Т. Николай Евгеньевич Булыгин как дендролог и фенолог // Бот. журн. 2005. Т. 90. № 4. С. 604—621.

Фирсов Г. А., Фадеева И. В., Волчанская А. В. Влияние метео-фенологической аномалии зимы 2006/07 года на древесные растения в Санкт-Петербурге // Вестник Московского гос. университета леса (Лесной вестник). 2008. № 6 (63). С. 22—28.

Фирсов Г. А., Фадеева И. В. Аномально-суровая зима 1986-87 гг. и зимостойкость древесных растений в Санкт-Петербурге // Научное обозрение. 2009. № 3. С. 8—19.

Фирсов Г. А., Фадеева И. В. Календарь природы Ботанического сада Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН // Древесные растения: фундаментальные и прикладные исследования. Вып. 2. М.: ФГБУН ГБС РАН, 2013. С. 111—125.

Фирсов Г. А. Древесные растения ботанического сада Петра Великого (XVIII-XXI вв.) и климат Санкт-Петербурга // Ботаника: история, теория, практика (к 300-летию основания Ботанического института им. В. Л. Комарова Российской академии наук): Труды международной научной конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. С. 208—215.

Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г. Ель Глена (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast., Pinaceae) в Санкт-Петербурге // Вестник Удмуртского ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. 2016. Т. 26. Вып. 3. С. 58—65.

Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г. Клён волосовидный (*Acer capillipes* Maxim. ex Miq., Sapindaceae) в Санкт-Петербурге // Вестник Воронежского гос. университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 1. С. 152—158.

- Фирсов Г. А., Ткаченко К. Г. Граб восточный (*Carpinus orientalis* Mill., Betulaceae) в Санкт-Петербурге // Бюлл. ГБС. 2018. Вып. 204. № 2. С. 9—15.
- Фирсов Г. А. Первое цветение *Decaisnea fargesii* Franch. (Lardizabalaceae) в Ботаническом саду Петра Великого БИН РАН // Цветоводство: история, теория, практика: Сборник статей IX Международной научной конференции (7-13 сентября 2019 г., г. Санкт-Петербург). СПб., 2019. С. 226—228.
- Фирсов Г. А., Фадеева И. В. Изменение климата и возможные изменения ассортимента древесных растений Санкт-Петербурга // Бюлл. ГБС. 2020. Вып. 206. № 1. С. 57—63.
- Фирсов Г. А., Хмарик А. Г., Трофимук Л. П. Багрянник японский (*Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc.) на северо-востоке Карельского перешейка (Ленинградская область) // Бюлл. ГБС. 2020. № 2. Вып. 206. С. 25—30.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В. Древесные растения в условиях климатических изменений в Санкт-Петербурге. Москва: "МАСКА", 2021. 128 с.
- Шнитников А. В. Предисловие // Ритмика природных явлений: Тез. докл. к III совещанию, Ленинград, 30 ноября 1976 г. Л., 1976. С. 3—4.
- Шульц Г. Э. Фенологические наблюдения - индикатор циклических колебаний климата // Изв. Всесоюз. географ. общ-ва. 1978. № 6. С. 498—504.
- Ярмишко В. Т. Николай Евгеньевич Булыгин. К 75-летию со дня рождения // Бот. журн. 1999. Т. 84. № 12. С. 134—140.
- Beckett K. Hardiness Zones and the British Isles // Krussmann G. Manual of Cultivated Conifers. Portland, Oregon: Timber Press, 1995. P. 7—8.
- Daly Ch., Widrlechner M. P., Halbleib M. D., Smith J. I., Gibson W. P. Development of a New USDA Plant Hardiness Zone Map for the United States // Journal of applied meteorology and climatology. 2012. Vol. 51. P. 242—264.
- Firsov G. A., Volchanskaya A. V., Tkachenko K. G., Staroverov N. E., Gryaznov A. Yu. *Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae) at the Peter the Great Botanical Garden // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2016. 177 (4). P. 28—36. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-4-28-36> .
- Magarey R. D., Borchert D. M., Schlegel J. W. Global plant hardiness zones for phytosanitary risk analysis // Scientia Agricola. 2008. Vol. 65. P. 54—59.
- Prokhorov A. A., Eglacheva A. V., Andrjusenko V. V., Dementiev P. P., Zarodov A. Yu. A comparative and statistical analysis of Pinopsida in the collections of Russia's botanic gardens, under varying climatic conditions // EuroGard V: Botanic gardens in the age of climate change – supplementary proceedings. Ulmus, 2012. № 14. P. 80—90.
- Rehder A. A Manual of Cultivated Trees and Shrubs Hardy in North America. N. Y.: The Macmillan Company, 1949. 996 p.
- Warda H. - D. Foreword to the Second Edition // Krussmann G. Manual of Cultivated Conifers. Portland, Oregon: Timber Press, 1995. P. 5.

Bioclimatic cyclicity and its influence on woody plants at Saint-Petersburg

FIRSOV
Gennady Afanasievich

V. L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,
street Professora Popova, 2, Saint-Petersburg, 197022, Russia
gennady_firsov@mail.ru

FADEEVA
Inna Vadimovna

V. L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,
street Professora Popova, 2, Saint-Petersburg, 197022, Russia
butvik@mail.ru

Key words:

science, phenological monitoring,
seasons, woody plants, climate
change

Summary:

In conditions of the warming of climate the observations on indicators of Nature Calendar at Peter the Great Botanic Garden (Saint-Petersburg, Russia) in 1980-2021 let us give the phenological estimation of short periodical oscillations of climate. The cyclicity of climate develops in the change of early-warm (EW) and late-cold (LC) years which reflects on winter hardiness and reproductive ability of woody plants. All severe and unfavorable winters happens to occur in LC years. In EW years the winter months are considerably warmer (in February on 7,2 °C, in January on 4,4 °C). There is rather large difference on spring, from its beginning till June inclusive. It means that conditions for wintering of plants are better in early-warm years. The duration of winter is shorter on 52 days, and the spring and the summer seasons are longer, consequently. According to USDA Hardiness Zones of woody plants, in late-cold years with average minimum temperature -26,5 °C St.-Petersburg is situated at 5a zone. And at early-warm years with temperature -19,3 °C it transfers to warmer zone 6b.

Is received: 20 march 2023 year

Is passed for the press: 19 december 2023 year

References

- Afanasev S. L. Possible causes of pulsation and cyclicness of geological processes// Ritmika prirodnykh yavlenij: Tezisy dokladov k III sovetshaniyu, Leningrad, 30 noyabrya 1976 g. L.: Geograficheskoe obshchestvo SSSR, 1976. P. 27—30.
- Beckett K. Hardiness Zones and the British Isles // Krussmann G. Manual of Cultivated Conifers. Portland, Oregon: Timber Press, 1995. P. 7—8.
- Bulygin N. E. Bioclimatic cyclicness and winter hardiness of woody introducents// Tez. dokl. VIII Dendrol. Kongressa sots. stran. Tbilisi, 1982a. P. 219.
- Bulygin N. E. Biological bases of woody phenology. L.: LTA, 1982b. 80 p.
- Bulygin N. E. Investigation of tendency and cyclicness in phenological rows in connection with phytoperiological prognostication at North-West of Russia// Fiziko-geografich. rajonir. i prognozir. L.: Geografich. obshch-vo SSSR, 1975 a. P. 32—36.
- Bulygin N. E. One and a half of century of phenological monitoring at Lesnoe// Izvestiya Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy akademii. Vyp. 4 (162). SPb., 1996a. P. 166—175.
- Bulygin N. E. Phenological observations on woody plants. L.: LTA, 1979. 97 p.
- Bulygin N. E. Seasonal-rhythmical structure of annual circle of landscape development, principles of its indication and prognostic significance// Modelirovanie i prognozirovanie v indikatsionnoj dendrofenologii. L.: LTA, 1980. C. 2—44. Dep. v VINITI, No. 1033-81 Dep.
- Bulygin N. E. Short periodical oscillations of climate and introduction of plants// Trudy pervoj Vserossijskoj konferentsii po botanicheskomu resursovedeniyu, 25-30 noyabrya 1996 goda. SPb., 1996b. P. 113.
- Bulygin N. E. Tendency and cyclicness in long phenological rows// Tezisy 12 Mezhdunarod. botan. kongressa. L.: Nauka, 1975 b. P. 179.
- Bulygin N. E., Berdnikova S. V., Mikhalkina L. G. Cyclicness in phytocenotic rows and its indicative

significance// Lesnoe khoz-vo, lesnaya, derevoobr. i tsellyuloz, bum. prom. Vyp. 4.: Mezhvuz. sbornik statej o zakonch. nautch, issled. rabotakh. L.: LTA, 1976. P. 8—10.

Bulygin N. E., Dovgulevitch Z. N. About phenological tendency and cyclicness in long phenological rows at North-West of Russia// Lesovodstvo, lesnye kultury i potchvovedenie. Vyp. 3: Mezhvuz. sb. nautch. tr. L.: LTA, 1974 b. P. 25—33.

Bulygin N. E., Dovgulevitch Z. N. Some results of mathematical analysis of long phenological rows// Mezhvuz. sb. zakonch. nautch. issled. raboV. Vyp. 2. L.: LTA, 1974 a. P. 36—40.

Bulygin N. E., Firsov G. A. Bioclimatic cyclicness and adaptation of woody plants of monsoon climate in their introduction to North-West of Russia// Materialy Mezhdunarod. konf., posvyatsh. 50-letiyu BoV. sada – in-ta DVO RAN. Vladivostok: Dalnauka, 1998. P. 157—160.

Bulygin N. E., Firsov G. A. Silver maple in Leningrad and prospects of its usage in city planting at North-West of Russia. L.: LTA, 1985. 31 p. Dep. v VINITI, No. 6296-85 Dep.

Bulygin N. E., Kurotchkina V. A., Mikhalkina L. G. Investigation of correlation connections between dendrophenoidicators and further warm supply of vegetative season// Modelirovanie i prognozirovanie v indikatsionnoj dendrofenologii. L.: LTA, 1980. P. 62—68. Dep. v VINITI, No. 1033-81 Dep.

Bulygin N. E., Topper S. M. Comparative effectiveness of different methods of phenoprognostification for checking the mass phenological information// Dokl. IV mezhvedomstv. sovetsh. po fenologitsh. prognozir. L.: Geograf. obtsh-vo SSSR, 1977. P. 13—17.

Bulygin N. E., Topper S. M. Seasonal coordination of phytophenoidicators at the base of cyclical oscillations of climate// Ritmika prirodnykh yavlenij: Tezisy dokladov k III sovetshaniyu, Leningrad, 30 noyabrya 1976 g. L.: Geograficheskoe obtshestvo SSSR, 1976. P. 144—147.

Daly Ch., Widrlechner M. P., Halbleib M. D., Smith J. I., Gibson W. P. Development of a New USDA Plant Hardiness Zone Map for the United States // Journal of applied meteorology and climatology. 2012. Vol. 51. P. 242—264.

Davitaya F. F. Prognosis of warm supply and some problems of seasonal development of nature. L.: Gidrometeoizdat, 1964. 132 p.

Fadeeva I. V., Firsov G. A. Indikatsionnoe znatchenie dendrofonologitsheskogo ryada zatsvetaniya *Alnus incana* v fenostatsionare Sankt-Peterburgskoj lesotekhnitsheskoy akademii // Dendrologiya v natchale XXI veka: Sbornik materialov Mezhdunarodnykh nautchnykh tchtenij pamyati E. L. Volfa, 6-7 oktyabrya 2010 goda, Sankt-Peterburgskaya gosudarstvennaya lesotekhnitsheskaya akademiya im. P. M. Kirova. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta. 2010. C. 210—214.

Firsov G. A. On memory of Nikolaj Evgenjevich Buligin (12 VIII 1924 – 22 V 2002)// BoV. zhurn. 2004. V. 89. No. 3. P. 186—190.

Firsov G. A. First flowering of *Decaisnea fargesii* Franch. (Lardizabalaceae) at Peter the Great Botanic Garden BIN RAS// Tsvetovodstvo: istoriya, teoriya, praktika: Sbornik statej IX Mezhdunarodnoj nautchnoj konferentsii (7-13 sentyabrya 2019 g., g. Sankt-Peterburg). SPb., 2019. P. 226—228.

Firsov G. A. To the problem of dendrological division into districts of territory of North-West of Russia// Byull. GBP. Vyp. 185. 2003. P. 3-8.

Firsov G. A. Woody plants of Peter the Great Botanic Garden (XVIII-XXI centuries) and climate of Saint-Petersburg// Botanika: istoriya, teoriya, praktika (k 300-letiyu osnovaniya Botanitsheskogo instituta im. V. L. Komarova Rossijskoj akademii nauk): Trudy mezhdunarodnoj nautchnoj konferentsii. SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2014. C. 208—215.

Firsov G. A., Byalt V. V. Review of woody exotic species producing a self-sowing in Saint-Petersburg// Rossijskij zhurnal biologitsheskikh invazij. 2015. No. 4. P. 129—152.

Firsov G. A., Fadeeva I. V. Abnormally severe winter of 1986-87 and winter hardiness of woody plants at Saint-Petersburg// Nautchnoe obozrenie. 2009. No. 3. P. 8—19.

Firsov G. A., Fadeeva I. V. Calendar of nature of Botanic Garden of V. L. Komarov Botanical Institute RAS//

Drevesnye rasteniya: fundamentalnye i prikladnye issledovaniya. Vyp. 2. M.: FGBUN GBS RAN, 2013. С. 111—125.

Firsov G. A., Fadeeva I. V. Izmenenie klimata i vozmozhnye izmeneniya assortimenta drevesnykh rastenij Sankt-Peterburga // Byull. GBP. 2020. Vyp. 206. No. 1. P. 57—63.

Firsov G. A., Fadeeva I. V., Voltchanskaya A. V. Influence of meteo-phenological anomaly of winter of 2006/07 on woody plants at Saint-Petersburg// Vestnik Moskovskogo gop. universiteta lesa (Lesnoj vestnik). 2008. No. 6 (63). P. 22—28.

Firsov G. A., Khmarik A. G. Moving of borders of winter hardiness of woody plants at North-West of Russia in conditions of warming of climate// Vestnik Udmurtskogo un-ta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle. 2016. V. 26. Vyp. 3. P. 58—65.

Firsov G. A., Khmarik A. G., Trofimuk L. P. Katsura tree (*Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc.) at North-east of Karel Isthmus (Leningrad region// Byull. GBP. 2020. No. 2. Vyp. 206. P. 25—30.

Firsov G. A., Tkatchenko K. G. Oriental hornbeam (*Carpinus orientalis* Mill., Betulaceae) at Saint-Petersburg// Byull. GBP. 2018. Vyp. 204. No. 2. P. 9—15.

Firsov G. A., Tkatchenko K. G., Lavrentev N. V. The invasive potential of *Quercus rubra* L. in St.-Petersburg// Vestnik Udmurtskogo gop. universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle. 2017. V. 27. Vyp. 3. P. 297—305.

Firsov G. A., Volchanskaya A. V., Tkachenko K. G., Staroverov N. E., Gryaznov A. Yu. *Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae) at the Peter the Great Botanical Garden // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2016. 177 (4). P. 28—36. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-4-28-36> .

Firsov G. A., Voltchanskaya A. V. Woody plants in conditions of climatic changes at Saint-Petersburg. Moskva: "MASKA", 2021. 128 p.

Firsov G. A., Voltchanskaya A. V., Tkatchenko K. G. El Glena (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast., Pinaceae) v Sankt-Peterburge[Glehn's Spruce (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast., Pinaceae) at Saint-Petersburg // Vestnik Volgogradskogo gop. universiteta. Seriya 11. Estestvennye nauki. 2015. No. 2 (12). P. 27—39.

Firsov G. A., Voltchanskaya A. V., Tkatchenko K. G. Snake-bark maple (*Acer capillipes* Maxim. ex Miq., Sapindaceae) at Saint-Petersburg// Vestnik Voronezhskogo gop. universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya. 2018. No. 1. P. 152—158.

Firsov G. A., Yarmishko V. T. Nikolaj Evgenjevich Buligin as dendrologist and phenologist// BoV. zhurn. 2005. V. 90. No. 4. P. 604—621.

Lapin P. I. Seasonal rhythm of development of woody plants and its significance for introduction// Byull. GBP. 1967. Vyp. 65. P. 13—18.

Magarey R. D., Borchert D. M., Schlegel J. W. Global plant hardiness zones for phytosanitary risk analysis // Scientia Agricola. 2008. Vol. 65. P. 54—59.

Maksimov E. V. Rhythmics of natural phenomena// Ritmika prirodnykh yavlenij: Tezisy dokladov k III sovetshaniyu, Leningrad, 30 noyabrya 1976 g. L.: Geograficheskoe obshchestvo SSSR, 1976. P. 5—8.

OI A. I. Rhythmics of influence of solar activity on landscape covering of Earth// Ritmika prirodnykh yavlenij: Tezisy dokladov k III sovetshaniyu, Leningrad, 30 noyabrya 1976 g. L.: Geograficheskoe obshchestvo SSSR, 1976. P. 15—17.

Prokhorov A. A., Eglacheva A. V., Andriyusenko V. V., Dementiev P. P., Zarodov A. Yu. A comparative and statistical analysis of Pinopsida in the collections of Russia's botanic gardens, under varying climatic conditions // EuroGard V: Botanic gardens in the age of climate change – supplementary proceedings. Ulmus, 2012. No. 14. P. 80—90.

Rehder A. A Manual of Cultivated Trees and Shrubs Hardy in North America. N. Y.: The Macmillan Company, 1949. 996 p.

Rzhonskitskij V. B. Flows at Sun and its influence on geophysical processes// Ritmika prirodnykh yavlenij: Tezisy dokladov k III sovetshaniyu, Leningrad, 30 noyabrya 1976 g. L.: Geograficheskoe obshchestvo SSSR,

1976. P. 23—27.

Shnitnikov A. V. Foreword// Ritmika prirodnykh yavlenij: Tez. dokl. k III sovetshaniyu, Leningrad, 30 noyabrya 1976 g. L., 1976. P. 3—4.

Shults G. E. Phenological observations - the indicator of cyclic oscillations of climate// Izv. Vsesoyuzn. geograf. obtsh-va. 1978. No. 6. P. 498—504.

Tkatchenko K. G., Firsov G. A., Voltchanskaya A. V. Quality of seeds of *Aristolochia macrophylla* Lam. and *A. manshuriensis* Kom. at Saint-Petersburg// Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selektsii. 2020. V. 181. No. 2. P. 14—22.

Tkatchenko K. G., Firsov G. A., Yandovka L. F., Voltchanskaya A. V., Staroverov N. E., Gryaznov A. Yu. Zangezur pear-tree (*Pyrus zangezura*, Rosaceae) at Saint-Petersburg// Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selektsii. 2019. V. 180. Vyp. 3. C. 12—18.

Vedenyapina E. G., Firsov G. A. Invisible phytophthoras// Pitomnik i tchastnyj sad. 2014. No. 2. P. 40—45.

Vedenyapina E. G., Firsov G. A., Voltchanskaya A. V., Vorobev N. I., AN., II. Soil-living species of genus *Phytophthora* at Botanic garden BIN RAS. II. Results of two years monitoring// Mikologiya i fitopatologiya. 2014b. V. 48. Vyp. 5. P. 322—332.

Vedenyapina E. G., Voltchanskaya A. V., Malysheva V. F., Malysheva E. F., Firsov G. A., AN. I. Soil-living species of genus *Phytophthora* at Botanic garden BIN RAS. I. First findings of *Ph. citricola*, *Ph. plurivora* and *Ph. quercina* in Russia// Mikologiya i fitopatologiya. 2014a. V. 48. Vyp. 4. P. 263—273.

Voltchanskaya A. V., Firsov G. A., Lavrentev N. V. Japanese maple (*Acer japonicum* Thunb.) at Saint-Petersburg// Vestnik OrelGAU. 2010. No. 2 (23). P. 66—72.

Warda H, D. Foreword to the Second Edition // Krussmann G. Manual of Cultivated Conifers. Portland, Oregon: Timber Press, 1995. P. 5.

Yarmishko V. T. Nikolaj Evgenjevich Buligin. To 75 years since birthday// BoV. zhurn. 1999. V. 84. No. 12. P. 134—140.

Цитирование: Фирсов Г. А., Фадеева И. В. Биоклиматическая цикличность и её влияние на древесные растения в Санкт-Петербурге // Hortus bot. 2023. Т. 18, 2023, стр. 244 - 270, URL:

<http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8686>. DOI: [10.15393/j4.art.2023.8686](https://doi.org/10.15393/j4.art.2023.8686)

Cited as: Firsov G. A., Fadeeva I. V. (2023). Bioclimatic cyclicity and its influence on woody plants at Saint-Petersburg // Hortus bot. 18, 244 - 270. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8686>