

РОСТ ТУИ ЗАПАДНОЙ (*THUJA OCCIDENTALIS* L.) В ДЕНДРАРИИ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИМ. Н.В. ЦИЦИНА РАН ПО ДАННЫМ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Д.Е. Румянцев^{1✉}, С.Л. Рысин², А.А. Коженкова²,
П.С. Александров¹, Н.С. Воробьева¹, А.А. Епишков¹

¹Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», 141005, Россия, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
²ФГУБН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук», 127276, Москва, ул. Ботаническая д. 4

dendro15@list.ru

Представлены материалы исследования изменчивости радиального прироста (ширины годичного кольца) туи западной (*Thuja occidentalis* L.), в дендрарии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. Установлены основные закономерности кратковременной и долговременной изменчивости радиального прироста, выявлены особенности влияния метеорологических параметров на величину прироста. Составлена таблица хода роста деревьев по диаметру ствола. Даны рекомендации по уходу за растениями на основании результатов дендроклиматического анализа. Проведено сопоставление результатов дендроклиматического анализа с результатами аналогичных исследований роста туи в дендрарии Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ключевые слова: туя западная, годичные кольца, радиальный прирост, дендрохронология, дендроклиматология, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН

Ссылка для цитирования: Румянцев Д.Е., Рысин С.Л., Коженкова А.А., Александров П.С., Воробьева Н.С., Епишков А.А. Рост туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в дендрарии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН по данным дендрохронологического анализа // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 1. С. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-5-16

Древесные растения адаптированы к климатическим условиям ареала произрастания, характеру смены погодных условий в течение года, а также к отклонениям метеопараметров от средних многолетних значений. В пределе, к которому стремится адаптированность деревьев в естественном ареале произрастания, для генотипа конкретного вида (экоотипа), ежегодные колебания метеопараметров не должны оказывать существенного влияния на изменчивость ширины годичного кольца.

Интродуцированные древесные растения, оказавшиеся в нехарактерных условиях произрастания, в ответ на ежегодные изменения климатических факторов так или иначе будут демонстрировать чувствительность в реакции своего радиального прироста.

Эта чувствительность особенно увеличивается в урбанизированной среде, поскольку городские условия резко отличаются от природных. В первую очередь это техногенное загрязнение атмосферного воздуха и почв от негативных выбросов автотранспорта и промышленности. К числу иных факторов относятся следующие:

– антропогенная трансформация климата и микроклимата;

- изменение водного и воздушного режимов почв,
- световое и тепловое загрязнение;
- иная структура биотических связей в урбоэкосистеме по сравнению с естественной экосистемой;
- эволюционно новые варианты межвидовой конкуренции;
- механические повреждения надземной и подземной частей растений, возникающие при прокладке различных коммуникаций;
- уплотнение и трансформация структуры почв в результате перемешивания их горизонтов;
- специфичный режим ухода за деревьями, который может включать в себя обрезку, полив, борьбу с болезнями и вредителями, внесение удобрений и др.

Исследования изменчивости годичного радиального прироста древесных растений, произрастающих в урбанизированной среде, можно отнести к сложным по следующим причинам. Урбанизация не представляет собой единое явление, а варьирует по составу формирующих ее факторов и интенсивности их воздействия. Важно также, что динамика ширины годичных колец выступает как функция большого числа переменных в виде разнообразных факторов среды и при этом объем рассматриваемых факторов не стабилен

во времени. К тому же при совместном действии экологических факторов проявляются эффекты синергизма, аддитивности и антагонизма. Чем больше факторов значимо для существования растения, тем более сложные функциональные связи формируются при их взаимодействии.

Можно с большой степенью уверенности предположить, что рост интродуцированных древесных растений при культивировании в урбанизированной среде будет существенно отличаться от их роста в естественном ареале. Характер и степень этих различий требуют для своего понимания проведения специальных исследований и не могут быть установлены умозрительно.

Цель работы

Цель работы — выявление закономерностей изменчивости ширины годичных колец туи западной (*Thuja occidentalis* L.), произрастающей в условиях северной части Москвы и установление индикационного значения показателей этой изменчивости.

Актуальность выполненных исследований обусловлена возможностью на объективной основе по дендрохронологической информации выявить факторы, критически значимые для нормального протекания физиологических процессов в организме дерева, а также ретроспективно исследовать закономерности роста древесных растений на длительных временных интервалах. Последнее особенно важно для видов-интродуцентов, результаты наблюдений за которыми не имеют требуемой полноты, в отличие от наблюдений за автохтонными видами.

Научная новизна проведенных исследований влияния климатических факторов на рост многих видов интродуцированных древесных растений с использованием методов дендрохронологии в условиях Московского региона определяется отсутствием подобных работ до настоящего времени. Нет данных и для туи западной, несмотря на то что этот вид широко используется при создании декоративных посадок в Москве и населенных пунктах Московской обл.

Практическая значимость результатов исследований связана с использованием выполненной диагностики при разработке рекомендаций по уходу за зелеными насаждениями, оценке кислородпродуцирующей функции туи западной в зависимости от погодного режима вегетационного сезона.

Еще один аспект практической значимости выполненных работ — выявление возможностей более широкого использования туи западной для создания посадок различного функционального назначения. Несмотря на то что туя западная весьма популярна в декоративном озеленении, лесные

культуры этого вида в хозяйственно важном масштабе на территории России не создавались [1, 2]. С учетом тенденции потепления климата, сопровождающихся ростом числа засух и их продолжительности в течение вегетационного сезона [3] можно спрогнозировать ситуацию, когда туя окажется одним из видов древесных растений, весьма перспективным для плантационного лесоразведения в целях получения древесины.

Туя западная достаточно хорошо исследована в дендрохронологическом отношении в естественном ареале произрастания, а потому данные о ее росте при интродукции в разные регионы России сформировали базу для сравнительного анализа [4–7].

Объект исследований

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) находится на территории Северо-Восточного административного округа Москвы. Природно-географические особенности территории описаны в монографии сотрудников ГБС РАН, обобщающей итоги многолетних дендрологических исследований [1]. Коллекция древесных растений занимает центральную часть ГБС РАН — восточный склон моренного плато, сложенного красно-бурыми валунными суглинками. Рельеф выровненный, с небольшим наклоном к руслу р. Лихоборка. Гидрологические условия территории характеризуются наличием трех водоносных горизонтов. Основной горизонт расположен на глубине 2...6 м в песчаных и супесчаных отложениях.



Рис. 1. Общий вид посадки туи западной
Fig. 1. General view of the White cedar planting

Дендрарий ГБС РАН располагается в пределах обширного зеленого массива, поэтому микроклиматические условия здесь несколько отличаются от застроенной части города. Дата перехода среднесуточной температуры через отметку в 0 °С для весны — 5 мая, осени — 5 октября, безморозный

Характеристика учетных деревьев

Characteristics of accounting trees

Номер учетного дерева	Высота, м	Диаметр ствола на высоте 1,3 м	Класс роста	Категория состояния	Расчетный возраст, лет	Число колец на керне	Географические координаты	
							широта	долгота
1	10	16	III	1	53	48	N 55°50.501'	E 037°36.745'
2	12	21	II	1	51	41	N 55°50.529'	E 037°36.715'
3	14	18	I	1	64	55	N 55°50.529'	E 037°36.724'
4	12	16	II	1	62	54	N 55°50.527'	E 037°36.687'
5	14	18	I	1	61	51	N 55°50.535'	E 037°36.719'
6	14	17	I	1	64	54	N 55°50.537'	E 037°36.719'
7	15	18	I	1	60	49	N 55°50.539'	E 037°36.714'
8	15	24	I	1	67	59	N 55°50.535'	E 037°36.721'
9	14	22	I	1	59	50	N 55°50.543'	E 037°36.709'
10	13	20	II	1	56	45	N 55°50.548'	E 037°36.717'
11	12	20	II	1	51	42	N 55°50.545'	E 037°36.711'
12	14	23	I	1	66	55	N 55°50.552'	E 037°36.717'
Среднее значение	13	19	I.5	1	60	50		

период длится 214 сут. Переход через отметку в 5 °С, условно принимаемый за начало вегетационного периода, наблюдается весной 20 апреля, а его окончание осенью 10 октября. Продолжительность вегетационного периода составляет 173 сут. Среднегодовая температура воздуха составляет 3,7 °С, абсолютный минимум –40,8 °С, абсолютный максимум 35,8 °С. Первый осенний заморозок отмечен в среднем 20 сентября, последний весенний — 20 мая. Среднегодовое количество осадков 537 мм. Почвы дендрария дерново-среднеподзолистые суглинистые с рН 5,1.

Обследованное нами насаждение туи западной — это часть экспозиции вида, представленного в дендрарии ГБС РАН (рис. 1). Ранее посадка стала объектом исследований А.В. Котовой [8]. Исследователь, в частности, показал, регулярное повреждение насаждения навалами снега. Согласно данным многолетних фенологических наблюдений, вегетация туи начинается примерно 5 мая, пыление проходит с 21 по 27 мая.

Материалы и методы

Взятие образцов древесины выполнено при помощи бурава Пресслера с деревьев I–III класса роста по Крафту. Отбор проведен на высоте 1,3 м по произвольно взятому радиусу. Характеристика обследованных учетных деревьев приведена в табл. 1, процесс отбора изображен на рис. 2.

По данным табл. 1 видно, что средняя высота обследованных деревьев составляет 13 м при среднем диаметре ствола 19 см. Все они характеризуются хорошим санитарным состоянием (балл 1,0), признаки развития болезней и вредителей на деревьях не обнаружены.



Рис. 2. Отбор кернов
Fig. 2. Core sampling

Отобранные в полевых условиях образцы этикетировались и поступали для обработки в лабораторию дендрохронологии Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Измерения ширины годичных колец производились на предварительно подготовленных кернах производились в полуавтоматическом режиме при помощи прибора LINTAB.

Контроль правильности измерений осуществлялся путем перекрестной датировки каждой индивидуальной древесно-кольцевой хронологии и средней хронологии по пробной площади в программе TSAP-Win [9, 10]. Полученные результаты с помощью программы TSAP-Win сохранялись в виде файла в формате «Excel CSV». Статистическая обработка данных была проведена при помощи программы MS Excel.

В изменчивости временного ряда радиального прироста посредством математических преобразований можно выделить долговременную и кратковременную компоненты этого показателя. Долговременная компонента отражает влияние на прирост медленно изменяющихся экологических факторов, к числу которых относятся конкурентные отношения в фитоценозе, а также эффекты изменения скорости нарастания древесины, обусловленные увеличением возраста дерева (вызванные изменением концентрации фитогормонов в отдельно взятой на стволе точке камбиальных делений). Кратковременная компонента отражает, прежде всего, влияние на ширину годичного кольца ежегодно изменяющихся климатических параметров.

Для выделения кратковременной компоненты нами проведен расчет временных рядов индексов радиального прироста по формуле:

$$I = \frac{R}{T},$$

где I — значение индекса прироста в данном году;

R — значение радиального прироста (ширины годичного кольца) в данном году, мм;

T — скользящее среднее для определенного временного интервала, мм.

В зависимости от варианта расчета скользящей средней индекс будет различаться. В данном случае скользящее среднее T для года n рассчитывалось по формуле

$$T_n = \frac{R_{n-4} + R_{n-3} + R_{n-2} + R_{n-1} + R_n}{5},$$

где R_n — значение ширины годичного кольца в текущем году, мм;

R_{n-1} — значение ширины годичного кольца в предыдущем году, мм и т. д.

Для выявления сопряженности в колебаниях ширины годичного кольца нами был использован метод корреляционного анализа рядов индексов прироста и рядов метеопараметров. Достоверность коэффициента корреляции определяется длиной временного ряда и принятым уровнем доверительной вероятности. В биологических исследованиях общепринятым уровнем доверительной вероятности является 0,95 [11]. Это означает, что полученные с использованием данного порога доверительной вероятности результаты будут достоверны в 95 % случаев.

Результаты исследований

Использование дендрохронологической информации предоставляет возможность оценки возраста деревьев. В табл. 1 приведены данные о числе годичных колец, зафиксированных на кернах, которые были получены при бурении отдельных учетных деревьев. Установлено, что число годичных колец изменяется в пределах 41...59 на одном керне. Эти данные позволяют судить о возрасте учетных деревьев с формулировкой «не менее чем». Например, возраст учетного дерева № 8 составляет не менее 59 лет. Можно предположить, что на самом деле этот возраст больше на несколько лет, так как керн отбирался на высоте 1,3 м, до которой дерево должно было несколько лет расти. Литературные данные свидетельствуют, о том, что насаждение туи в дендрарии ГБС РАН было создано в 1950-х гг. [1]. Следует отметить, что насаждение сформировано посадкой, к моменту которой посадочный материал уже имел определенный (хотя и небольшой) биологический возраст. Таким образом, установленный нами на основе анализа годичных колец возраст совпадает с данными литературных источников. Важно, что, хотя насаждение и является одновозрастным, тем не менее, на кернах с разных учетных деревьев зафиксировали разное число годичных колец. Это расхождение невелико (коэффициент вариации 6 %) и связано с невозможностью направить бур Пресслера таким образом, чтобы при отборе керна он прошел через биологический центр ствола дерева.

Анализ полученных данных позволяет провести ретроспективную реконструкцию роста дерева по диаметру стволов для учетных деревьев. Зная диаметр дерева в год N и последовательно вычитая из величины этого показателя двойную ширину годичного кольца (радиальный прирост, умноженный на 2, дает годичный прирост по диаметру) для прошлого года, позапрошлого года и так далее, можно получить ряды хода роста учетных деревьев по диаметру ствола на высоте 1,3 м (рис. 3).

Анализируя графики рядов хода роста (см. рис. 3), можно отметить различную скорость роста отдельных учетных деревьев. Максимальной

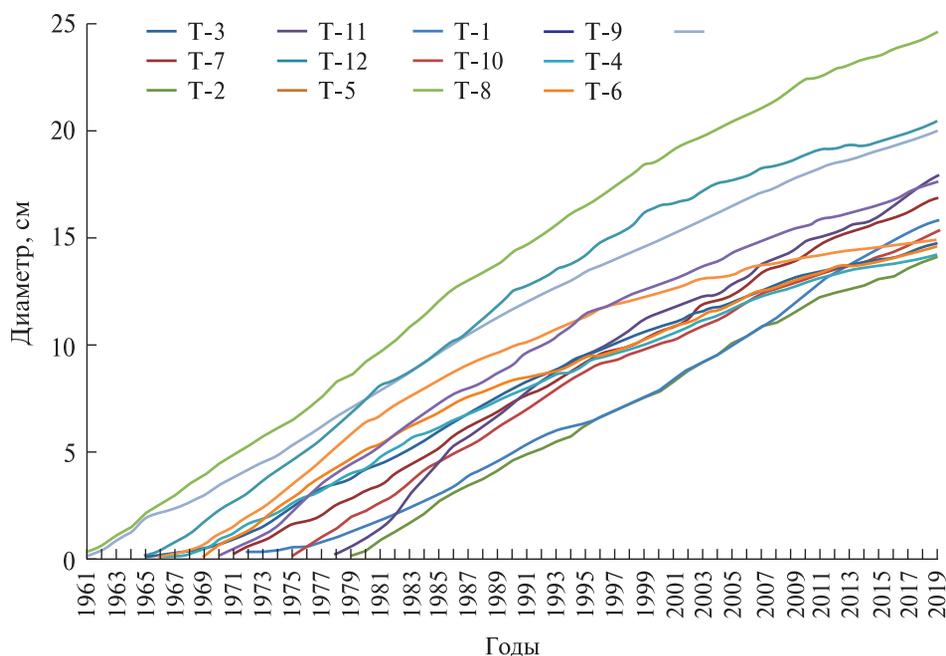


Рис. 3. Реконструированный ход роста по диаметру для учета деревьев туи западной в дендрарии ГБС РАН

Fig. 3. Reconstructed growth by diameter for white cedar inventory in the GBS RAS arboretum

скоростью роста отличается учетное дерево Т-2, минимальной — характеризуются учетные деревья Т-8 и Т-9. Среднюю для всех изученных деревьев скорость роста по диаметру отражает график на рис. 4.

График, представленный на рис. 4 можно использовать при прогнозировании хода роста туи западной в насаждениях различного функционального назначения (в том числе на объектах озеленения). Это важно для моделирования изменения пропорций создаваемых композиций.

Дендрохронологический метод позволяет выявлять основные климатические факторы, способные вызывать ослабление роста деревьев в конкретном древостое [12]. По рис. 5. видно, что изменчивость ширины годичного кольца обладает выраженным возрастным трендом: с возрастом ширина годичного кольца снижается.

На рис. 5 хорошо видно, что ширина годичного кольца меняется от года к году, причем в ряде случаев эти колебания весьма значительны. Амплитуду колебаний прироста отражает рис. 6. Числовые значения, легшие в основу графика — это разность между шириной годичного кольца в год $n - 1$ и шириной годичного кольца в год n . Анализируя рис. 6, можно отметить существование перепадов прироста: так резкое увеличение ширины годичного кольца наблюдалось в 1965, 1980 и в 2004 гг. Фактически эти годы характеризуют наиболее резкие переходы от «плохого» состояния растений к «хорошему». На графике динамики ширины годичного кольца (см. рис. 6)

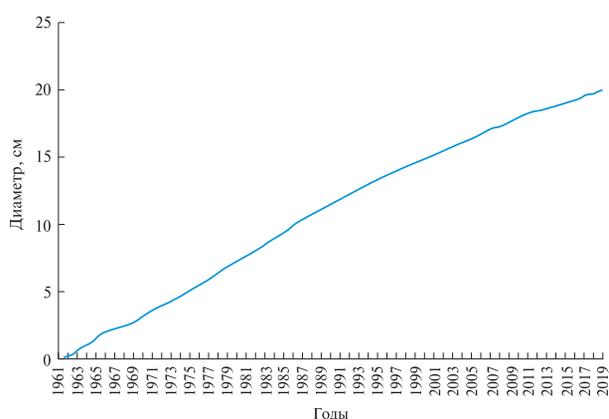


Рис. 4. Обобщенный график хода роста по диаметру туи западной в условиях дендрария ГБС РАН

Fig. 4. General growth graph of the white cedar diameter in the GBS RAS arboretum

им предшествуют 1964, 1979 и 2003 гг., характеризующиеся крайне узкими годичными кольцами. Анализ факторов формирования резких перепадов в ширине годичного кольца целесообразно провести по методу климаграмм [13, 14].

Анализируя климаграммы, представленные на рис. 7, следует отметить, что для 1965, 1980 и 2004 гг. наблюдается специфическое отличие по параметру «среднемесячная температура мая». Низкая температура в мае стимулирует лучший рост туи. О низкой жаростойкости вида свидетельствует плохой рост его представителей в годы с высокой температурой.

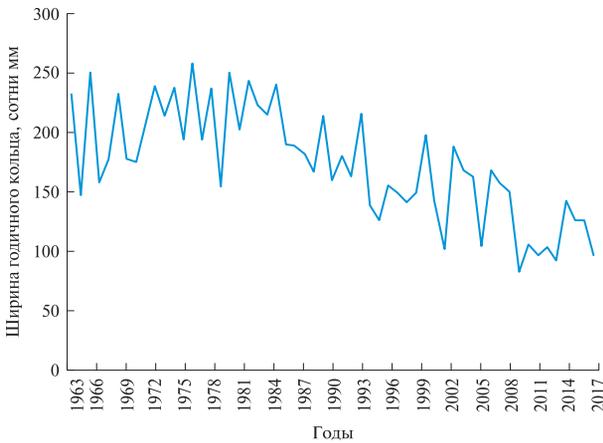


Рис. 5. Динамика средней ширины годичного кольца в древостое туи западной по годам

Fig. 5. Average width of the white cedar annual ring dynamics by the years

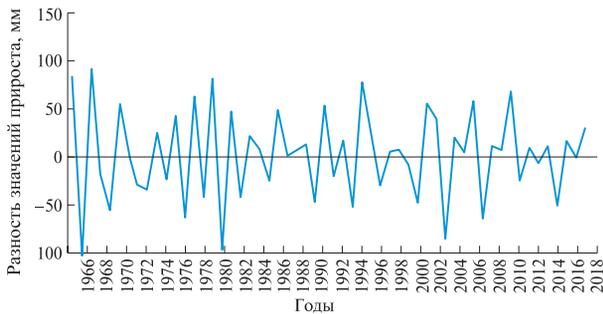


Рис. 6. Динамика амплитуды колебаний радиального прироста туи западной

Fig. 6. Radial growth fluctuation amplitude dynamics

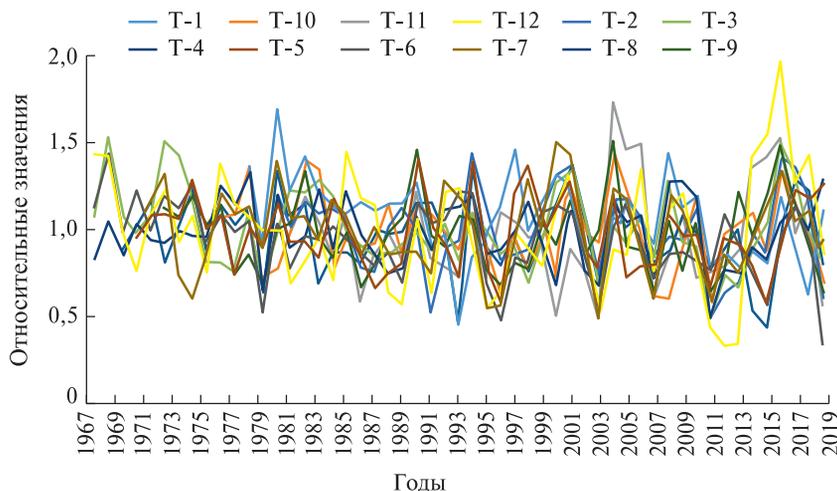


Рис. 9. Динамика индексов радиального прироста у учетных деревьев туи

Fig. 9. Radial growth indices dynamics in the accounting thuja trees

Анализируя климаграммы на рис. 8, необходимо отметить, что для трех выявленных лет наблюдается выраженное специфическое отличие по параметру «месячная сумма осадков июля». Обилие осадков в это период положительно ска-

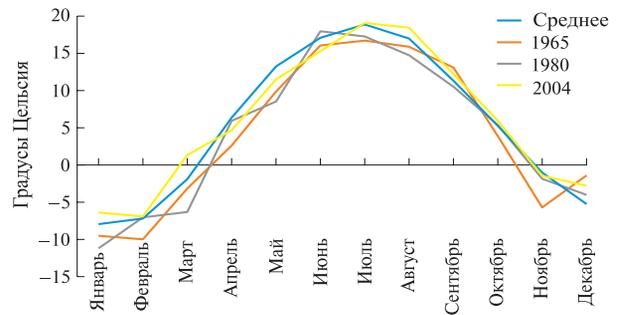


Рис. 7. Распределение среднемесячных температур по месяцам в годы формирования экстремально узких годичных колец и по среднелетним данным

Fig. 7. Distribution of average monthly temperatures by months in the years of extremely narrow annual rings formation and by average long-term data

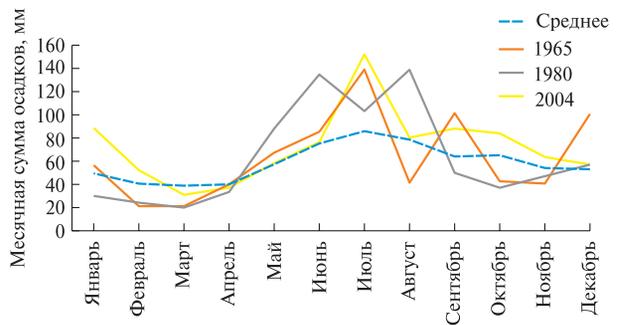


Рис. 8. Распределение сумм осадков по месяцам в годы формирования экстремально узких годичных колец и по среднелетним данным

Fig. 8. Distribution of monthly precipitation amounts by months in the years of extremely narrow annual rings formation and according to long-term average data

зывается на росте туи. Следовательно, полив растений в июле (в том случае если наблюдается выпадение осадков ниже среднелетней нормы) приведет к более интенсивному росту по диаметру. Безусловно, в декоративных посадках

нет необходимости в увеличении скорости роста в целях накопления древесины. Однако интенсивный прирост по диаметру здесь важен для увеличения устойчивости и долговечности, так как обеспечивает скорейшее зарастание ран, остатков сухих сучьев, механических повреждений и снижает таким образом вероятность заражения грибными и бактериальными болезнями через эти образования.

Вывод, который можно сделать на основании изложенного выше, имеет практическое значение — назначение полива туи должно быть предварительно дендроклиматически диагностировано и только тогда есть смысл его проводить, причем в определенный период вегетационного сезона и с учетом текущих значений метеопараметров.

Альтернативным методом климаграмм по структуре анализа влияния метеофакторов факторов на прирост является метод корреляционного анализа. Для его выполнения необходимо предварительно провести индексирование временных рядов ширины годичного кольца. Ширину годичного кольца каждого года следует поделить на среднюю ширину годичного кольца за последние 5 лет, в результате чего будут получены индексированные хронологии по ширине годичного кольца (рис. 9).

Индивидуальные индексированные хронологии характеризуются высокой синхронностью: периоды увеличения и уменьшения прироста у них совпадают (см. рис. 9). На основе индивидуальных хронологий была рассчитана средняя индексированная хронология (рис. 10).

Представленная хронология (см. рис. 10) легла в основу корреляционного анализа. Достоверность коэффициентов корреляции определяется длиной временного ряда. При числе степеней свободы 54 и уровне доверительной вероятности 0,05 достоверны значения коэффициентов корреляции от 0,26 (в табл. 2 они выделены полужирным шрифтом). Достоверные значения коэффициента корреляции для температур сентября — это случайность, уровень доверительной вероятности 0,05 подразумевает, что 5 % из выявленных коэффициентов будут иметь случайный характер и в первую очередь это относится к коэффициентам, значение которых близко к пороговому (в нашем случае 0,26).

Четко выражен (см. табл. 2) отрицательный эффект майских засух в год формирования годичного кольца: наблюдается отрицательная реакция ширины годичного кольца на повышенные температуры атмосферного воздуха и положительная — на повышенные суммы осадков. Недостаток осадков в июле в год, предшествовавший году формирования годичного кольца, имеет отрицательное влияние на прирост, напротив, обилие осадков сказывается на нем положительно.

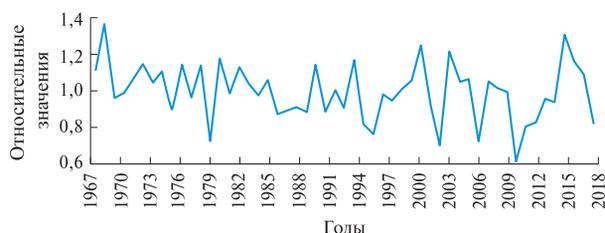


Рис. 10. Динамика индексов радиального прироста в исследованном древостое

Fig. 10. Radial growth indices dynamics in the studied forest stand

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициентов корреляции между индексами радиального прироста и метеопараметрами

Correlation coefficient values between radial growth indices and meteorological parameters

Месяц	Год, предшествовавший году формирования годичного кольца		Год формирования годичного кольца	
	температура	осадки	температура	осадки
Январь	0,08	0,20	-0,21	0,00
Февраль	0,16	-0,15	0,06	0,15
Март	0,11	0,06	-0,02	0,14
Апрель	0,05	0,13	0,08	0,09
Май	0,15	-0,03	-0,53	0,33
Июнь	-0,09	0,10	-0,25	0,01
Июль	-0,23	0,39	-0,15	0,22
Август	-0,15	0,21	0,03	0,08
Сентябрь	-0,13	0,02	0,02	-0,28
Октябрь	0,12	-0,17	-0,17	0,09
Ноябрь	-0,11	-0,03	-0,07	0,06
Декабрь	0,31	0,29	-0,06	0,02

Таким образом, и корреляционный анализ, и анализ по методу климаграмм выявили критическую значимость метеоусловий мая и июля для формирования прироста древесины у туи западной в условиях дендрария ГБС РАН. Однако указанные методы фиксируют несколько разные экофизиологические аспекты реакции деревьев на изменения значений метеопараметров в эти месяцы. Практическое значение для улучшения роста посадок туи может иметь полив в мае и июле с учетом текущих метеоусловий и сравнения данных погодного мониторинга метеопараметров с данными по среднемноголетним показателям.

Результаты и обсуждение

Очевиден смысл сопоставления полученных нами материалов с результатами аналогичных исследований.

Так при изучении туи западной, произрастающей в дендрарии Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана [15], были выявлены следующие достоверные коэффициенты корреляции с индексами прироста:

- осадки мая текущего года ($R = 0,45$);
- температура марта прошлого года ($R = -0,41$);
- температура июля прошлого года ($R = -0,44$);
- температура октября прошлого года и индекс радиального прироста ($R = 0,41$);
- осадки июля прошлого года ($R = 0,45$);
- осадки сентября прошлого года ($R = 0,38$).

Рассчитанные значения коэффициентов корреляции для перечисленных показателей свидетельствуют о достаточно тесной их связи с индексами прироста.

Следует отметить, что для формирования годичного кольца туи в дендрарии оказался значимым только один параметр текущего года (календарного года формирования годичного кольца) — осадки мая (также как и в условиях ГБС РАН). Увеличение их количества положительно сказывалось на величине радиального прироста.

Остальные значимые метеопараметры приурочены к прошлому году (году предшествовавшему календарному году формирования годичного кольца). Установлено, что так же, как и в ГБС РАН, обильные осадки в июле прошлого года положительно влияют на величину радиального прироста на следующий год.

Таким образом, генетические особенности вида в данном случае оказываются более значимы, нежели локальные экологические условия произрастания, и формируют одинаковую реакцию прироста на увеличение осадков мая текущего года и осадков июля прошлого года.

Для сравнения можно привести аналогичные результаты анализа роста псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) из дендрария Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана — североамериканского вида хвойных, имеющего ареал, не перекрывающийся с ареалом туи западной [16]. Достоверные значения коэффициентов корреляции были обнаружены в следующих случаях: между индексом радиального прироста и месячной суммой осадков июня ($R = 0,43$), суммой осадков ноября ($R = -0,47$); среднемесячной температурой июня ($R = -0,46$), июля ($R = -0,57$), августа ($R = -0,43$); среднемесячной температурой сентября ($R = -0,48$). Для метеопараметров в год, предшествовавший году формирования годичного кольца, достоверные значения коэффициентов корреляции были обнаружены между осадками декабря и индексом прироста по ширине годичного кольца ($R = -0,45$).

Сопоставление набора достоверных коэффициентов корреляции для двух видов на двух разных объектах демонстрирует их полное несоответствие. Общей является значимость условий июля — отрицательное влияние засушливых условий на рост обеих пород. Однако характер этого влияния: в текущий вегетационный сезон, либо вегетационный сезон прошлого года, положительная реакция на увеличение атмосферных осадков либо отрицательная реакция на повышенные температуры — отличается по экофизиологическим деталям. Из этого можно сделать вывод о важности наследственных экологических свойств вида при формировании спектра климатических факторов, критически значимых для существования деревьев в разных экотопах и о перспективности дендроклиматического анализа для диагностики потребности деревьев в определенном роде уходах (прежде всего поливах).

В рамках выполненного исследования несомненный интерес представляет сопоставление результатов с данными аналогичных исследований в естественном ареале.

Так, для северо-востока штата Миннесота (США) были построены хронологии по ширине годичного кольца для сосны смолистой (*Pinus resinosa* Ait.), сосны веймутовой (*Pinus strobus* L.) и туи западной (*Thuja occidentalis* L.) [6]. Реакция ширины кольца на климат, оцененная с помощью корреляционного анализа и функций отклика, была в целом сходной у всех трех видов с достоверными положительными связями с июньско-июльскими осадками и значимыми отрицательными ассоциациями с июньско-июльскими температурами воздуха. При этом для роста туи западной (по сравнению с двумя другими видами) более значимы погодные условия весны. Таким образом, отмечается явное сходство с полученными нами результатами для дендрариев ГБС РАН и Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Живые и мертвые деревья туи западной были исследованы дендрохронологическим методом в условиях произрастания на склонах скал и в осыпях Ниагарского откоса в южной части провинции Онтарио (Канада) [5]. Сто сорок две серии годичных колец были перекрестно датированы, и в итоге составлена хронология древесных колец длиной 1397 лет, охватывающая период 594–1990 гг. нашей эры (самая длинная в Канаде). Расчет корреляции между индексами прироста древесных колец и 51 климатической переменной показал, что рост туи западной отрицательно коррелирует с температурой предыдущего вегетационного периода. Наиболее сильная корреляция наблюдалась между радиальным ростом деревьев и максимальной температурой в июле-августе прошлого года. Чрезвычайно жаркие летние

условия негативно сказываются на росте деревьев в следующем году. Данные температурные корреляции очень похожи на наблюдавшиеся для туи и также сопоставимы с результатами, полученными в нашем исследовании.

Исследование изменчивости годовых колец туи в широтном градиенте было выполнено в западных районах Квебека [4]. Широтная трансекта была установлена с 47,3° с. ш. по 50° с. ш. и разделена на три зоны по обилию туи: сплошная зона (CZ), где туя распространена; прерывистая зона (DZ), которая отмечает северный край непрерывного распределения и где туя становится менее распространенной в лесном пологом; маргинальная зона (MZ), где встречаются только несколько изолированных участков с древостоями туи. Отбор проб был сосредоточен на слабодренированных низменных участках, так как они являются наиболее репрезентативными по эдафическим условиям произрастания на северной границе распространения вида в Квебеке. Современные данные свидетельствуют о том, что бореальные леса и тундра испытывают воздействие потепления климата. Одним из ожидаемых результатов прогнозируемых климатических изменений является смещение биогеографических ареалов видов деревьев на север. В бореальных экосистемах последствия изменения климата, как ожидается, будут наиболее заметны на северных границах распространения вида. Глобальное потепление должно ослабить связанные с холодом климатические ограничения, как это было предложено исследованиями, проведенными на высокоширотных линиях деревьев.

В рассматриваемом исследовании была проанализирована сеть ежегодных данных о приросте деревьев за несколько столетий в сочетании с метеорологическими данными, охватывающими период с 1953 по 2010 год.

Межгодовые колебания прироста туи в период с 1953 по 2010 г. положительно коррелировали с весенней температурой (март, апрель, в основном май). Однако при этом рост отрицательно коррелировал с теплыми летними (июль и август) температурами года, предшествовавшего образованию кольца. Отрицательная корреляция наблюдалась также для большинства пробных площадей с июньской температурой текущего года (календарного года формирования годовичного кольца). Установлено, что высокая температура благоприятна для роста туи в начале вегетационного периода, но она становится ограничивающим фактором по мере продвижения к концу вегетационного сезона. Радиальный рост также положительно коррелировал с осадками в августе текущего года как в зоне CZ, так и в зоне DZ, но не в зоне MZ. Кроме того, избыток осадков в октябре

года, предшествующего году образования кольца, оказал негативное влияние на рост в зоне CZ. Негативное влияние осадков наблюдалось и в зоне MZ в мае текущего года.

Несколько иные результаты дало исследование роста туи на южной границе ареала. Это исследование было проведено в округе Рокингем, штат Вирджиния (США) [7]. Изучение стандартной хронологии выявило значимые корреляции между радиальным ростом туи и климатическими переменными. Связь между средней температурой и ростом была самой слабой среди всех климатических переменных, подвергавшихся анализу. Только средняя температура августа предыдущего года и температура июля текущего года достоверно коррелировали с ростом, демонстрируя отрицательную корреляцию. Связи между ростом туи и осадками были преимущественно положительными, причем осадки октября прошлого календарного года, текущие июньские, августовские и сентябрьские осадки достоверно положительно коррелировали с величиной прироста. В результатах данного исследования мы в очередной раз наблюдаем выраженное влияние погодной обстановки июля, но важно, что влияние условий мая в данном случае не проявляется.

Выводы

Полученные в ходе исследования модели хода роста туи западной по диаметру можно использовать в практике ухода за деревьями в урбанизированной среде. По данным дендроклиматического анализа установлено, что на рост туи западной в дендрарии на территории ГБС РАН выраженное отрицательное влияние оказывают высокие температуры мая, положительное — осадки мая. Таким образом, майские засухи имеют критическое значение для успешного роста туи на исследованном объекте. Малое количество осадков в июле отрицательно сказывается на росте туи на следующий год, что следует учитывать при планировании агротехнических уходов за туей на следующий год. Анализ литературных данных показывает, что погодный режим мая и июля оказывает значимое влияние на рост туи и в естественном ареале, что свидетельствует об общем характере выявленной закономерности.

Список литературы

- [1] Плотникова Л.С., Александрова М.С., Беляева Ю.Е., Немова Е.М., Рябова Н.В., Якушина Э.И. Древесные растения Главного ботанического сада им Н.В. Цицина РАН: 60 лет интродукции / под ред. А.С. Демидова. М.: Наука, 2005. 586 с.
- [2] Каппер О.Г. Хвойные породы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. 304 с.

- [3] Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным / под ред. О.Н. Соломиной. СПб.: Нестор-История, 2017. 360 с.
- [4] Housset J., Girardin M., Baconnet M., Carcaillet C., Bergeron Y. Effect of climate on the radial growth of *Thuja occidentalis* northern marginal population in Quebec // *Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology*, 2015, v. 13, pp. 82–85.
- [5] Kelly P.E., Cook E.R., Larson D.W. A 1397-year tree-ring chronology of *Thuja occidentalis* from cliff faces of the Niagara Escarpment, southern Ontario, Canada // *Canadian J. of Forest Research*, 1994, v. 24, no. 5, pp. 1049–1057. DOI:10.1139/X94-137
- [6] Kipfmüller K.F., Elliot G.P., Larson E.R. An assessment of dendroclimatic potential of three conifer species in Northern Minnesota // *Tree-ring research*, 2010, v. 66 (2), pp. 113–126.
- [7] Kincaid J.A. Structure and dendroecology of *Thuja occidentalis* in disjunct stand south of its contiguous range in the Central Appalachian Mountains, USA // *Forest ecosystems*, 2016, v. 25, no. 3, pp. 1–11.
- [8] Колесников А.И. Декоративная дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1974. 703 с.
- [9] Матвеев С.М., Румянцев Д.Е. Дендрохронология. Воронеж: Изд-во ВГЛУ, 2013. 140 с.
- [10] Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. М.: МГУЛ, 2010. 107 с.
- [11] Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1973. 343 с.
- [12] Fritts H.C. *Tree rings and climate*. London–New York–San Francisco: Academic press, 1976, 576 p.
- [13] Румянцев Д.Е. Потенциал использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2011, 36 с.
- [14] Lovelius N.V. *Dendroindication of natural processes and antropogenic influences*. St. Petersburg: World & family-95, 1997, 316 p.
- [15] Румянцев Д.Е., Воробьева Н.С., Александров П.С. Особенности роста туи западной в дендрарии МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана // *Academy*, 2019, № 4 (43). С. 4–6.
- [16] Румянцев Д.Е., Денисова Н.Б., Воробьева Н.С., Александров П.С. Дендроклиматический анализ роста псевдотсуги Мензиса в условиях дендрария МФ МГТУ им. Баумана // *Современные проблемы науки и образования*. Материалы науч. конф. М.: Изд-во РАЕ, 2019. С. 39–41.
- [17] Котова А.В. Разработка методики эстетической оценки и прогноз состояния насаждений в ботанических экспозициях (на примере экспозиций дендрария ГБС РАН) // *Лесное хозяйство*, 2010. № 5. С. 72.
- [18] Румянцев Д.Е., Черакшев А.В. Дендроклиматическая диагностика состояния сосен секции STROBI в условиях дендрологического сада МГУЛ // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2013. № 7 (99). С. 121–127.
- [19] Румянцев Д.Е. Дендроклиматические исследования и лесоведение // *Материалы VIII Междунар. науч. конф. «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях»*, Белгород, 22–25 октября 2019 г. Белгород: Изд-во БГУ, 2019. С. 58–61.

Сведения об авторах

Румянцев Денис Евгеньевич  — д-р биол. наук, профессор кафедры лесоводства, экологии и защиты леса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), dendro15@list.ru

Рысин Сергей Львович — канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории дендрологии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН, ser-gysin@yandex.ru

Коженкова Анна Альбертовна — канд. с.-х. наук, науч. сотр. лаборатории дендрологии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН, kozhenkova_anna@mail.ru

Александров Павел Сергеевич — магистрант кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), pavel_aleksandrov_95@mail.ru

Воробьева Наталия Сергеевна — аспирант кафедры лесоводства экологии и защиты леса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vorobyeva@bmstu.ru

Епишков Антон Алексеевич — аспирант кафедры лесоводства экологии и защиты леса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kam_ant1983@mail.ru

Поступила в редакцию 02.03.2022.

Одобрено после рецензирования 13.10.2022.

Принята к публикации 12.12.2022.

WHITE CEDAR GROWTH IN THE N.V. TSITSIN MAIN BOTANICAL GARDEN ARBORETUM OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES ACCORDING TO DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS

D.E. Rumyantsev^{1✉}, S.L. Rysin², A.A. Kozhenkova²,
P.S. Aleksandrov¹, N.S. Vorob'eva¹, A.A. Epishkov¹

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

dendro15@list.ru

The study materials of the White cedar (*Thuja occidentalis* L.) radial growth (the width of the annual ring) variability in the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden arboretum of the Russian Academy of Sciences are presented. The main patterns of short-term and long-term variability of radial growth are established, the influence peculiarities of meteorological parameters on the growth figures are revealed, a yield table of tree growth by trunk diameter is compiled. Based on the results of dendroclimatic analysis, recommendations for the care of plants are given. The results of dendroclimatic analysis were compared with the results of similar studies of White Cedar growth in the Mytishchi branch of the Bauman Moscow State Technical University arboretum.

Keywords: white cedar, annual rings, radial growth, dendrochronology, dendroclimatology, the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden RAS

Suggested citation: Rumyantsev D.E., Rysin S.L., Kozhenkova A.A., Aleksandrov P.S., Vorob'eva N.S., Epishkov A.A. *Rost tui zapadnoy (Thuja Occidentalis L.) v dendrarii Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina RAN po dannym dendrokronologicheskogo analiza* [White cedar growth in the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden arboretum of Russian Academy Of Sciences according to dendrochronological analysis]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-5-16

References

- [1] Plotnikova L.S., Aleksandrova M.S., Belyaeva Yu.E., Nemova E.M., Ryabova N.V., Yakushina E.I. *Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada im N.V. Tsitsina RAN: 60 let introduksii* [Woody plants of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences]. Ed. A.S. Demidov. Moscow: Nauka, 1975, 547 p.
- [2] Kapper O.G. *Khvoynye porody* [Coniferous species]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1954, 304 p.
- [3] *Zasukhi Vostochno-Evropeyskoy ravniny po gidrometeo-ologicheskim i dendrokronologicheskim dannym* [Droughts of the East European plain according to hydrometeorological and dendrochronological data]. Ed. O.N. Solomina. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017, 360 p.
- [4] Housset J., Girardin M., Baconnet M., Carcaillet C., Bergeron Y. Effect of climate on the radial growth of *Thuja occidentalis* northern marginal population in Quebec. *Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology*, 2015, v. 13, pp. 82–85.
- [5] Kelly P.E., Cook E.R., Larson D.W. A 1397-year tree-ring chronology of *Thuja occidentalis* from cliff faces of the Niagara Escarpment, southern Ontario, Canada. *Canadian J. of Forest Research*, 1994, v. 24, no. 5, pp. 1049–1057. DOI:10.1139/X94-137
- [6] Kipfmüller K.F., Elliot G.P., Larson E.R. An assessment of dendroclimatic potential of three conifer species in Northern Minnesota. *Tree-ring research*, 2010, v. 66 (2), p. 113–126.
- [7] Kincaid J.A. Structure and dendroecology of *Thuja occidentalis* in disjunct stand south of its contiguous range in the Central Appalachian Mountains, USA. *Forest ecosystems*, 2016, v. 25, no. 3, pp. 1–11.
- [8] Kolesnikov A.I. *Dekorativnaya dendrologiya* [Decorative dendrology]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1974, 703 p.
- [9] Matveev S.M., Rumyantsev D.E. *Dendrokronologiya* [Dendrochronology]. Voronezh: VGLTU, 2013, 140 p.
- [10] Rumyantsev D.E. *Istoriya i metodologiya lesovodstvennoy dendrokronologii* [History and methodology of forestry dendrochronology]. Moscow: MGUL, 2010, 107 p.
- [11] Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1973, 343 p.
- [12] Fritts H.C. *Tree rings and climate*. London–New York–San Francisco: Academic press, 1976, 576 p.
- [13] Rumyantsev D.E. *Potentsial ispol'zovaniya dendrokronologicheskoy informatsii v lesnoy nauke i praktike* [Potential use of dendrochronological information in forest science and practice]. Diss. Dr. Sci. (Biol.). Voronezh: VGLTA, 2011, 36 p.
- [14] Lovelius N.V. Dendroindication of natural processes and antropogenic influences. St. Petersburg: World & family-95, 1997, 316 p.
- [15] Rumyantsev D.E., Vorob'eva N.S., Aleksandrov P.S. *Osobennosti rosta tui zapadnoy v dendrarii MF MGTU im. N.E. Bauman* [Features of the growth of Western thuja in the arboretum of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman]. *Academy*, 2019, no. 4 (43), pp. 4–6.
- [16] Rumyantsev D.E., Denisova N.B., Vorob'eva N.S., Aleksandrov P.S. *Dendroklimaticheskii analiz rosta psevdotsugi Menzisa v usloviyakh dendrariya MF MGTU im. Bauman* [Dendroclimatic analysis of the growth of Menzies pseudotsuga in the conditions of the arboretum of the Bauman Moscow State Technical University]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. Materialy nauchnykh konferentsiy* [Modern problems of science and education. Materials of scientific conferences]. Moscow: RAE, 2019, pp. 39–41.
- [17] Kotova A.V. *Razrabotka metodiki esteticheskoy otsenki i prognoz sostoyaniya nasazhdeniy v botanicheskikh ekspozitsiyakh (na primere ekspozitsiy dendrariya GBS RAN)* [Discussion of the principles of reconstruction of the botanical exposition of the genus thuja on the territory of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences]. *Lesnoe khozyaystvo [Forestry]*, 2010, no. 5, p. 72.

- [18] Rumyantsev D.E., Cherakshev A.V. *Dendroklimaticheskaya diagnostika sostoyaniya sosen seksii STROBI v usloviyakh dendrologicheskogo sada MGUL* [Dendroclimatic diagnostics of the state of the STROBI section pines in the conditions of the MSFU dendrological garden]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, no. 7 (99), pp. 121–127.
- [19] Rumyantsev D.E. *Dendroklimaticheskie issledovaniya i lesovedenie* [Dendroclimatic research and forest science]. Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i na soprodel'nykh territoriyakh» [Proceedings of the VIII International Scientific Conference «Problems of Nature Management and the Ecological Situation in European Russia and Adjacent Territories»]. Belgorod: BGU, 2019, pp. 58–61.

Authors' information

Rumyantsev Denis Evgen'evich ✉ — Dr. Sci. (Biology), Professor of the Department of Forestry, ecology and forest protection of BMSTU (Mytishchi branch), dendro15@list.ru

Rysin Sergey L'vovich — Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Dendrology of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, ser-rysin@yandex.ru

Kozhenkova Anna Al'bertovna — Cand. Sci. (Agriculture), Researcher at the Laboratory of Dendrology of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, kozhenkova_anna@mail.ru

Aleksandrov Pavel Sergeevich — Master graduand of the Department of Landscape architecture and landscape construction of the BMSTU (Mytishchi branch), pavel_aleksandrov_95@mail.ru

Vorob'eva Nataliya Sergeevna — pg. of the Department of Forestry, ecology and forest protection of the BMSTU (Mytishchi branch), vorobyeva@bmstu.ru

Epishkov Anton Alekseevich — pg. of the Department of Forestry, ecology and forest protection of the BMSTU (Mytishchi branch), kam_ant1983@mail.ru

Received 02.03.2022.

Approved after review 13.10.2022.

Accepted for publication 12.12.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest