

УДК 581.5:57.045

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ТОПОЛЯ БЕРЛИНСКОГО И ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ¹

© 2023 г. Д. А. Зайцев^а, *, Буй Динь Дык^б, А. В. Селиховкин^б

^аЛенинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства “Белогорка” – филиал ФГБНУ “ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха”,

ул. Институтская, 1, д. Белогорка, Гатчинский р-он, Ленинградская обл., 188338 Россия

^бСанкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, 194021 Россия

*E-mail: disoks@gmail.com

Поступила в редакцию 18.02.2021 г.

После доработки 15.07.2021 г.

Принята к публикации 02.02.2022 г.

Исследовалось влияние температуры и осадков на изменение радиального прироста древесины тополя берлинского (*Populus × berolinensis* Dipp.) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в Санкт-Петербурге. Керны отобраны со старых деревьев в парке Лесотехнического университета, в Палевском сквере, в г. Пушкине (тополь) и в Московском парке Победы (липа). Для исключения влияния фактора возраста образца на изменение ширины его годичных колец были использованы общепринятые методы детрендинга, расчеты проводились в программном обеспечении Arstan. Колебания осадков и температуры зимнего периода значимо не влияют на рост тополя и липы в Санкт-Петербурге. Летние осадки оказывают положительное, но не определяющее воздействие, в некоторых случаях радиальный прирост древесины увеличивается с ростом количества осадков. Температура не оказывает значимого воздействия на стандартизированные (очищенные от влияния возраста) показатели прироста. Нестандартизированные средние значения прироста при увеличении температуры в июле–сентябре достоверно снижаются. Воздействие температуры и осадков, по-видимому, проявляется опосредованно, усугубляя или сглаживая воздействие других факторов, в особенности фактора загрязнения воздуха. Воздействие загрязняющих веществ усиливается при повышении температуры в конце вегетационного сезона, т.к. происходит их накопление на поверхности листьев. Осадки смывают загрязняющие вещества, снижая интенсивность влияния загрязнения. Снижение прироста во второй половине 1990-х гг. у тополя при отсутствии такового у липы объясняется последствиями продолжительной вспышки массового размножения тополёвой моли – пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) в 1991–1999 гг. Высказанные предположения требуют дополнительных исследований, в частности определения уровня загрязнения листьев в течение вегетационного сезона и учета воздействия других факторов.

Ключевые слова: радиальный прирост древесины, *Populus × berolinensis* Dipp., *Tilia cordata* Mill., климатические факторы, городские насаждения, стандартизация прироста.

DOI: 10.31857/S0024114823010114, EDN: NKDFCX

Насаждения Санкт-Петербурга, крупнейшего северного мегаполиса, имеют сложную структуру в плане административной принадлежности, выполняемых функций, породного состава, природных условий и др. Воздействие экологических факторов на зелёные насаждения в городской среде специфично. Загрязнение воздуха, воды и почвы, изменение гидрологического режима, формирование своеобразных почвенных структур,

изменение микроклиматических условий, в особенности увеличение температуры и суммы осадков в урбанизированных средах, формируют ответные реакции растений, существенно отличающиеся от таковых в природной среде (Lovett et al., 2000; Jillian et al., 2003; Волошук, Воронков, 2009; Алексеев и др., 2019).

Вблизи северной границы ареала древесные растения более уязвимы к воздействию негативных факторов как биогенных, так и климатических. В окрестностях Санкт-Петербурга проходит

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-16-00065.

северная граница ареалов для значительного числа видов древесных растений, в частности для дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.), ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) и др. (Бялт и др., 2019). В последние десятилетия в Санкт-Петербурге происходит довольно быстрое изменение климата. Среднегодовая температура в 1931–1960 гг. составляла 4.6°C, в 1961–1990 гг. – 5.0°C, а в 1991–2020 – уже 6.3°C. Растет и среднее значение суммы осадков. Причем особенно резко температура выросла за последние 30 лет, а осадки – за последние 60 (Архив погоды в Санкт-Петербурге).

Изучению состояния городских насаждений и факторов, влияющих на его динамику, посвящено множество исследований (Vrecenak et al., 1989; Ковязин и др., 2002; Фёдорова и др., 2008; Фёдорова, 2009; Lu et al., 2010; Koeser et al., 2014; Алексеев и др., 2019 и др.), защищён ряд диссертаций (Мошеникова, 2011; Тимофеева, 2015; Ходачек, 2019 и др.). В этом плане для изучения ответных реакций древесных растений на воздействие экологических факторов, в особенности антропогенных и погодных, чрезвычайно эффективны дендрохронологические методы. Эти методы позволяют провести ретроспективный анализ состояния насаждений и воздействия на них различных факторов (Ловелиус, 1979, 2000, 2001; Cook, 1985). Однако по каким-то причинам радиальный прирост почти не используется как интегральный показатель состояния городских насаждений Санкт-Петербурга (Фёдорова, 2009; Мошеникова, 2011; Тимофеева, 2015; Бухарина и др., 2007; Ковязин и др., 2002; Ходачек, 2019; Материалы, 2020 и др.) и неизвестно, в какой степени динамика температуры и осадков воздействует на состояние насаждений в условиях Санкт-Петербурга (далее – СПб). Задачей данного исследования было установление роли основных климатических факторов (температуры и осадков) в изменении радиального прироста древесины лиственных пород городских насаждений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Основным исследуемым видом древесных растений был выбран тополь берлинский (*Populus × berolinensis* Dipp.), гибрид – тополь лавролистный (*P. laurifolia* Ledeb.) и тополь черный пирамидальный (*P. nigra* var. *italica* Münchh.) – основной гибрид тополей, который массово высаживали после Великой Отечественной войны (Бялт и др., 2019). Это позволило отобрать образцы древесины с компактно расположенных групп деревьев в трех точках – в парке Лесотехнического университета (северная часть СПб), в Палевском сквере

(пр. Елизарова, Невский район, центральная часть СПб), на Привокзальной площади и на Железнодорожной ул. (Пушкин, южный пригород СПб). Для проведения сравнительного анализа влияния климатических показателей на прирост древесины были также собраны керны у липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в Московском парке Победы, расположенном в южной части города.

Деревья, с которых отбирались керны, в каждой точке были жизнеспособными и располагались компактными группами. Керны отбирались на высоте груди приростным буравом Пресслера от 20 модельных деревьев. Возраст деревьев во всех парках варьировал от 60 до 80 лет, за исключением двух экземпляров липы мелколистной в Московском парке Победы, возраст которых составил до 83 и 89 лет. Изучение макроструктурных показателей древесины проводилось с помощью бинокулярного микроскопа МБС–9. Для расчетов использовался основной массив полученных данных за период с 1961 по 2018 гг.

Для оценки силы климатического сигнала в полученных данных использовался коэффициент чувствительности (Vaganov et al., 2006). Коэффициент чувствительности показывает, насколько варьирует радиальный прирост по годам, т.е. реакцию древостоя на различные внешние воздействия. Коэффициент вычисляется путем нахождения абсолютного значения разности соседних значений ширины колец, деленной на их среднюю величину. Древостой показывает хороший отклик на метеопараметры, если коэффициент чувствительности составляет не менее 0.2 (Vaganov et al., 2006).

В связи с различным возрастом исследуемых модельных деревьев (в основной массе в пределах двух классов возраста) использование усредненных абсолютных показателей прироста древесины может привести к неточной оценке влияния климата на прирост (Schweingruber, 1996). В связи с этим для исключения влияния фактора возраста образца в изменении ширины его годовичных колец были использованы общепринятые методы детрендinга (Fritts, 1976; Cook, 1985; Methods, 1990; Schweingruber, 1996; Vaganov et al., 2006). Расчеты проводились в программном обеспечении Arstan, которое позволило подобрать кривую хода роста индивидуально для каждого образца в связи с различиями в возрасте дерева на момент отбора керна (Cook, 1985). Для исключения тренда возраста применялись различные кривые, наилучшим образом отражающие ход роста дерева на разных периодах жизни. Использовались негативная (отрицательная) экспонента, линейная функция с отрицательным или нулевым уклоном,



Рис. 1. Динамика средней температуры и суммы осадков в Санкт-Петербурге.

или кривая Hugershoff, которая включает в себя функции полинома и отрицательной экспоненты (Cook, 1985).

После обработки в программном обеспечении Arstan были получены индексы прироста, показывающие уже очищенный от возрастного тренда сигнал. Индексы вычислялись путем деления измеренного показателя прироста на показатель модели. Таким образом, стандартизация данных предусматривала индексирование данных замеров ширины годичных колец по формуле:

$$I = if/is \times 100\%,$$

где I — относительный индекс, %;

if — фактическая ширина годичного кольца, мм;
 is — сглаженные значения нормы прироста в мм, в зависимости от возраста, рассчитанные в программе Arstan с применением вышеописанных кривых.

Полученные стандартизированные индексы прироста по образцам усреднялись в обобщенную древесно-кольцевую хронологию по пробной площади. В дальнейшем анализе применялись как абсолютные величины ширины годичного кольца, так и полученные стандартизированные индексы как более чувствительные для выделения достоверного воздействия внешних факторов на прирост. Для анализа влияния климатических факторов на проиндексированные древесно-кольцевые хронологии был применен ранговый корреляционный анализ по Спирмену как количественная оценка связи между исследуемыми явлениями.

В качестве климатических показателей использовались среднегодовая температура и сумма осадков за вегетационный сезон, расчетный период с мая по конец сентября составил 123 дня, также

применялся и показатель общей суммы осадков за год (Архив погоды в Санкт-Петербурге).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средние показатели температуры и суммы осадков в Санкт-Петербурге за период с 1960 по 2018 г. варьируют в относительно небольших пределах (рис. 1), что в целом характерно для климата города (Материалы, 2020). В последние два десятилетия намечился тренд увеличения температуры.

Вариация прироста тополя после перехода деревьев во второй-третий классы возраста (1970 г. и далее) резко снижается (рис. 2). Затем до 2003 г. амплитуда колебаний изменяется в относительно небольших пределах. В 2003–2004 гг. наблюдается резкое снижение прироста в 2003–2007 гг., которое затем восстанавливается до средних значений. Следует отметить также некоторое снижение прироста на всех объектах в середине-второй половине 1990-х гг.

О пригодности полученных данных для дендрохронологического анализа говорят достаточно высокие коэффициенты чувствительности (0.20–0.22) на всех изучаемых локациях роста тополя берлинского, которые являются показателем реакции на факторы внешней среды, лимитирующие прирост.

Результаты расчета коэффициентов ранговой корреляции позволили оценить силу и направленность связи климатических показателей и годичного прироста. Обращает на себя внимание значимая отрицательная связь средней температуры вегетационного периода (в большинстве случаев также среднемесячной) и неиндексиро-

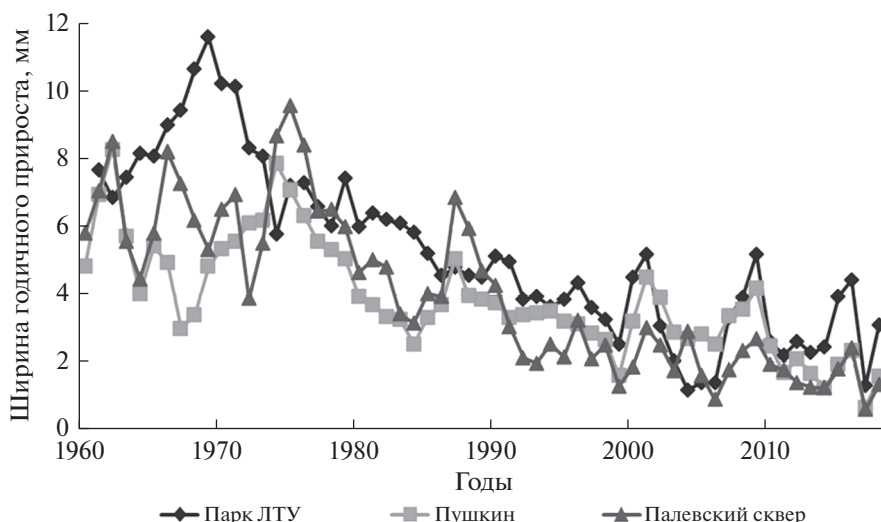


Рис. 2. Динамика ширины годичного радиального прироста древесины тополя берлинского в Санкт-Петербурге.

ванных значений ширины годичного прироста тополя берлинского (табл. 1). При этом для стандартизированных показателей значимых корреляций с температурой не было выявлено. По-видимому, стандартизация привела к излишнему сглаживающему эффекту в плане реакции тополя на такой фактор, как температура.

С показателями суммы осадков присутствует локальная значимая положительная корреляционная связь только для стандартизированных показателей прироста в Палевском сквере (табл. 2). Соответственно, наблюдается положительная корреляционная связь прироста с динамикой гидро-термического коэффициента Селянинова для данного объекта (табл. 3). В остальных случаях значимая корреляционная связь между радиальным приростом и суммой осадков отсутствует.

Однако следует отметить, что для индексированных показателей прироста коэффициенты корреляции прироста с суммой осадков, хотя не значимы на уровне $p < 0.05$, все-таки существенно выше, чем для неиндексированных значений (табл. 2).

Рассчитав коэффициенты корреляции между приростом, среднегодовой температурой и суммой осадков за весь год, мы получили такое же распределение, как и для вегетационного сезона. Значимая отрицательная корреляционная связь наблюдается для осредненных радиальных приростов и температуры: парк ЛТУ — $R_s = -0.56$; Палевский сквер — $R_s = -0.56$; Пушкин — $R_s = -0.48$; положительная связь для прироста и суммы осадков в Палевском сквере — $R_s = 0.30$. Корреляционная связь между этими показателями по месяцам за пределами вегетационного сезона незначима.

Таблица 1. Коэффициенты ранговой корреляции R_s между средними значениями радиального прироста тополя берлинского и средней температурой

Месяц	Корреляции R_s для осредненных радиальных приростов			Корреляции R_s для стандартизированных хронологий		
	ЛТУ	Палевский сквер	Пушкин	ЛТУ	Палевский сквер	Пушкин
V	-0.23	-0.35	-0.24	0.02	-0.04	0.12
VI	-0.08	-0.19	-0.10	-0.08	-0.17	-0.11
VII	-0.42	-0.40	-0.24	-0.17	-0.08	0.06
VIII	-0.41	-0.47	-0.49	0.13	-0.12	-0.09
IX	-0.41	-0.35	-0.42	-0.26	0.11	0.01
За весь вег. период	-0.47	-0.54	-0.43	-0.24	-0.08	0.04

Примечание. Полужирным шрифтом выделены показатели, значимые при $p < 0.05$.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции по Спирмену R_s между средними значениями радиального прироста тополя берлинского и суммой осадков

Месяц	Корреляции R_s для осредненных радиальных приростов			Корреляции R_s для стандартизированных хронологий		
	ЛТУ	Палевский сквер	Пушкин	ЛТУ	Палевский сквер	Пушкин
V	−0.19	−0.10	−0.21	−0.12	−0.06	−0.22
VI	−0.23	−0.04	−0.03	−0.07	0.22	0.12
VII	−0.07	−0.08	−0.03	0.11	0.22	0.13
VIII	−0.09	0.05	0.04	−0.21	0.26	0.22
IX	0.13	0.15	0.09	0.07	0.11	−0.06
За весь вег. период	−0.10	−0.04	−0.08	−0.11	0.31	0.11

Примечание. Полужирным шрифтом выделены показатели, значимые при $p < 0.05$.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции по Спирмену между средними значениями гидротермических коэффициентов увлажнения Селянинова и радиального прироста тополя берлинского за период с мая по сентябрь включительно

Корреляции R_s по месяцам для осредненных радиальных приростов			Корреляции R_s для стандартизированных хронологий		
ЛТУ	Палевский сквер	Пушкин	ЛТУ	Палевский сквер	Пушкин
−0.08	0.09	0.05	−0.05	0.29	0.12

Примечание. Полужирным шрифтом выделены показатели, значимые при $p < 0.05$.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции по Спирмену между показателями радиального прироста липы мелколистной и климатическими факторами

Месяц	Корреляции R_s со средней температурой		Корреляции R_s с суммой осадков	
	для осредненных приростов	для стандартизированных хронологий	для осредненных приростов	для стандартизированных хронологий
V	−0.13	0.04	−0.06	0.05
VI	0.03	0.08	−0.09	0.12
VII	−0.16	0.12	0.03	0.14
VIII	−0.22	0.00	0.16	0.25
IX	−0.14	0.00	−0.03	−0.05
За весь вег. период	−0.18	0.10	0.04	0.27

Примечание. Полужирным шрифтом выделены показатели, значимые при $p < 0.05$.

Для липы мелколистной исследование показало более высокий коэффициент чувствительности на внешние воздействия, чем для тополя (0.26). Однако для климатических воздействий значимая, но слабая корреляционная связь отмечена только между суммой осадков и приростом для стандартизированных хронологий (табл. 4). Значимых корреляций прироста и средних температур выявлено не было.

Сопоставление коэффициентов корреляции между приростом, температурой и осадками за год, за вегетационный сезон и отдельные месяцы показали, что колебания осадков и температуры зимнего периода значимо не влияют на рост тополя и липы в Санкт-Петербурге. Это вполне понятно. Снежный покров в Санкт-Петербурге исчезает к началу апреля (Архив погоды в Санкт-Петербурге), а к началу вегетационного сезона полностью смывается

дождями. Температура в зимний период обычно не опускается до значений менее -20°C , однако частые колебания температуры нередко приводят к появлению морозобойных трещин на отдельных деревьях (Фёдорова и др., 2008; Федорова, 2009; Селиховкин и др., 2019). По-видимому, это воздействие может проявляться локально и в целом не оказывает существенного влияния на прирост.

Некоторое воздействие на динамику прироста оказывают колебания температуры и осадков в течение вегетационного сезона. Положительное, но не определяющее воздействие летних осадков вполне объяснимо. Количество осадков и влажность в Санкт-Петербурге превышают средние показатели по Северо-западу (Научно-прикладной, 1988). Влаги более чем достаточно для нормального развития растений, при этом на всех участках, где проводились исследования, ливневый сток организован хорошо. Подтопления корневой системы не происходит. Однако в конце вегетационного периода из-за пылевого загрязнения ассимиляционного аппарата фотосинтетическая активность снижается. Соответственно, именно в августе осадки начинают играть некоторую положительную роль в росте растений.

Снижение прироста тополя при повышении температуры в Санкт-Петербурге, где сумма положительных (эффективных) температур относительно невелика, — несколько неожиданный факт. Это может быть связано с особенностями формирования радиального прироста данной породы под воздействием температуры, изменяющейся с возрастом. Уточнение особенностей физиологии, определяющих такое воздействие, требует дальнейших исследований.

Классические работы многочисленных авторов показывают, что загрязняющие вещества в городских условиях оказывают сильное воздействие на состояние городских насаждений (Жиллет, 1988; Бухарина и др., 2007). Возможно, что в городских условиях сочетание повышенной температуры и накопления загрязняющих веществ приводит к их более активной ассимиляции и усилению отравляющего воздействия. Накопление загрязняющих веществ должно происходить, начиная с середины сезона, и именно в июле–сентябре отмечается снижение прироста при повышении температуры, а в Палевском сквере у тополя и в Московском парке Победы у липы положительное воздействие осадков, смывающих загрязняющие вещества с листьев, отмечено в августе. Нельзя исключать и возможное влияние таких антропогенных факторов, как уплотнение и выемка грунта, нередкие в Санкт-Петербурге аварии трубопроводов и разливы горячей воды или сточных вод и т.п.

Снижение прироста во второй половине 1990х гг. у тополя при отсутствии такового у липы объясняется продолжительной (1991–1999 гг.) вспышкой массового размножения тополёвой моли — пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) (Буй Динь Дык и др., 2021), во время которой в течение нескольких лет повреждались все листья на тополях берлинских и бальзамических в Санкт-Петербурге (Селиховкин, 2010; Буй Динь Дык и др., 2021). Наиболее заметное снижение прироста в этот период наблюдалось в Палевском сквере, в котором плотность популяции вредителя была наибольшей. В 2017 г в этом районе началась вторая вспышка массового размножения, распространявшаяся в настоящее время на всю территорию города (Мамаев и др., 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что в большинстве случаев температура и осадки в Санкт-Петербурге не оказывают достоверного влияния на рост и, соответственно, состояние тополей, во всяком случае, исследуемого тополя берлинского. Воздействие температуры и осадков, по-видимому, проявляется опосредованно, усугубляя или сглаживая воздействие других факторов, в особенности загрязнения воздуха. Кроме того, могли оказывать существенное воздействие и другие антропогенные факторы, связанные с загрязнением и переуплотнением почвы. Серьезное воздействие оказывают и биологические факторы, вредители и болезни, способные привести насаждения к массовой гибели (Селиховкин и др., 2019, 2020). Однако высказанные предположения требуют дополнительных исследований, в частности определения уровня загрязнения листьев в течение вегетационного сезона и учёта воздействия других факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.С., Ходачек О.А., Селиховкин А.В. Анализ факторов ослабления хвойных древостоев в рекреационных насаждениях // Биосфера. 2019. Т. 11. № 1. С. 48–61.
- Архив погоды в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Санкт-Петербурге (дата обращения: 10.10.2020).
- Буй Динь Дык, Леонтьев Л.Л., Барышникова С.В., Селиховкин А.В. Последствия массового размножения тополёвой нижнесторонней моли-пестрянки и других минирующих микрочешуекрылых в Санкт-Петербурге // Лесоведение. 2021. № 4. С. 372–378.
- Бухарина И.Л., Поварнишина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных расте-

- ний в урбанизированной среде: монография. Ижевск: ИЖГСХА, 2007. 216 с.
- Бялт В.В., Фирсов Г.А., Бялт А.В., Орлова Л.В. Культурная флора г. Санкт-Петербурга (Россия) и ее анализ // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журн. 2019. № 2(30). С. 11–103. URL: http://vestospu.ru/archive/2019/articles/2_30_2019.pdf. (дата обращения: 10.10.2020).
- Волощук А.Я., Воронков Н.Н. Зеленые насаждения внутриквартального озеленения в Санкт-Петербурге. СПб: СПбГЛТА, 2009. 47 с.
- Жилет Д.Г. Загрязнение воздуха и жизнь растений. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 536 с.
- Ковязин В.Ф., Минкевич И.И., Шабнов В.М. Древесные породы зеленых насаждений Санкт-Петербурга и Пушкина, мониторинг их состояния и способы его улучшения. СПб.: СПбГПУ, 2002. 88 с.
- Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л.: Наука, 1979. 232 с.
- Ловелиус Н.В. Дендроиндикация. Dendroindication. СПб.: ПАНИ, 2000. 313 с.
- Ловелиус Н.В. Становление дендроиндикации как направления научных и прикладных исследований. СПб.: Европейский дом, 2001. 312 с.
- Мамаев Н.А., Буй Динь Дык, Селиховкин А.В. Вторая вспышка размножения тополёвой моли-пестрянки *Phyllonorycter populifoliella* в Санкт-Петербурге // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. № 233. С. 81–94.
- Материалы оценки воздействия на окружающую среду. Методики оценки состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга и нормативов качества зеленых насаждений. СПб, 2020. 72 с. URL: www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2020/09/24/05/OBOS_Metodika_ekoocenki_ZH_2020_posle_obsuzhdeniy.pdf (дата обращения: 10.10.2020).
- Мощеникова Н.Б. Оценка экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. М., 2011. 19 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининская и Смоленская области. / Под ред. Н.С. Смирнова. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 693 с.
- Селиховкин А.В. Особенности популяционной динамики тополёвой нижнесторонней моли-пестрянки *Phyllonorycter populifoliella* Tr. (Gracillariidae) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. № 192. С. 220–235.
- Селиховкин А.В., Варенцова Е.Ю., Зарудная Г.И., Поповичев Б.Г., Мусолин Д.Л. Вредители и патогены древесных растений в рекреационных насаждениях Санкт-Петербурга и окрестностей // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Матер. IV науч.-техн. конф. СПб.: СПбГЛТУ, 2019. С. 157–160.
- Селиховкин А.В., Дренкхан Р., Мандельштам М.Ю., Мусолин Д.Л. Инвазии насекомых-вредителей и грибных патогенов древесных растений на северо-западе европейской части России // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65. № 2. С. 263–283.
- Тимофеева Ю.А. Оценка влияния листовых вредителей на состояние липы в парковых насаждениях Санкт-Петербурга: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.03.02. СПб., 2015. 21 с.
- Федорова Н.Б., Осипов Д.В., Григорьев А.С. Результаты мониторинга зеленых насаждений общего пользования в 2007 году // Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2007 г. СПб.: Сезам-Принт, 2008. С. 347–355.
- Федорова Н.Б. Зеленые насаждения Санкт-Петербурга и мониторинг их состояния // Лесной вестник. 2009. № 5. С. 202–206.
- Ходачек О.А. Факторы, определяющие состояние хвойных пород в насаждениях, имеющих рекреационное значение в Санкт-Петербурге, Ленинградской области и соседних территориях: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 06.03.02. СПб., 2019. 19 с.
- Cook E.R. A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization. Dissertation, University of Arizona, Tucson, 1985. 183 p.
- Fritts H.C. Tree Rings and climate. London: Academic Press Inc., 1976. 567 p.
- Jillian W.G., Clive G.J., Todd E.D. Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City // Nature. 2003. № 424. P. 183–187.
- Koeser A.K., Gilman E.F., Paz M., Harchick C. Factors influencing urban tree planting program growth and survival in Florida, United States // Urban Forestry & Urban Greening. 2014. № 13(4). P. 655–661.
- Lovett, G.M., Traynor M.M., Pouyat R.V., Carreiro M.M., Wei-Xing Zhu, Baxter J.W. Atmospheric deposition to oak forests along an urban-rural gradient // Environmental Science and Technology. 2000. № 34(20). P. 4294–4300.
- Lu J.W.T., Svendsen E.S., Campbell L.K., Greenfeld J., Braden J., King K.L., Falxa-Raymond N. Biological, social, and urban design factors affecting young street tree mortality in New York City // Cities and the Environment. 2010. № 3(1). Article 5. P. 1–15.
- Cook E.R., Kairiukstis L.A. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Science. Boston; London: Kluwer Acad. Publ, 1990. 394 p.
- Schweingruber F.H. Tree Rings and Environment: Dendroecology. Bern: Paul Haupt. 1996. 609 p.
- Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. Growth dynamics of conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments. Ecological Studies. Springer, Berlin-Heidelberg, 2006. 358 p.
- Vrecenak A.J., Vodak M.C., Fleming L.E. The influence of site factors on the growth of urban trees // J. Arboriculture. 1989. № 15(9). P. 206–209.

Temperature and Precipitation Affect the Radial Growth of Berlin Poplar and Small-leaved Linden Trees in Saint Petersburg

D. A. Zaytsev^{1, *}, Buy Dinh Dyk², and A. V. Selikhovkin²

¹Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, Institutskaya st., 1, Belogorka vlg, Gatchina district, Leningrad region, 188338 Russia

²Saint Petersburg Forestry University, Institutskiy ln., 5, Saint Petersburg, 194021 Russia

*E-mail: disoks@gmail.com

The effect of temperature and precipitation on the change in the radial growth of wood of Berlin poplar (*Populus × berolinensis* Dipp.) and small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) in Saint Petersburg was studied. Cores were taken from old trees in the Forestry Technical University park, in the Palevsky square, in the city of Pushkin (poplar trees) and in the Moscow Victory Park (linden trees). To eliminate the influence of the samples' age factor on the change in its growth rings' width, the generally accepted detrending methods were used; the calculations were carried out in the Arstan software. Precipitation and temperature fluctuations during the winter period do not significantly affect the growth of poplar and linden in Saint Petersburg. Summer precipitation has a positive, but overall not a decisive effect, in some cases, the radial growth increases with increasing rainfall. Temperature has no significant effect on standardised (age-adjusted) growth rates. Non-standardised average values of growth under the increasing temperature conditions in July–September significantly decrease. The effects of temperature and precipitation appear to be indirect, exacerbating or offsetting the effects of other factors, especially the air pollution. The impact of pollutants increases with the increase in temperatures at the end of the growing season, because they accumulate on the leaves' surface. Precipitation washes away pollutants, reducing the intensity of their impact. Growth decline in poplar trees in the second half of the 1990s, in the absence of such an occurrence in linden, can be explained by the consequences of a prolonged outbreak of the poplar moth (*Phyllonorycter populifoliella*) mass reproduction in 1991–1999. The above assumptions require additional research; in particular, determining the level of leaf contamination during the growing season and taking into account the impact of other factors.

Keywords: radial wood growth, *Populus × berolinensis* Dipp., *Tilia cordata* Mill., climatic factors, urban stands, standardization of wood growth.

Acknowledgements: The study has been carried out with the financial support from the RSF grant № 21-16-00065.

REFERENCES

- Alekseev A.S., Khodachek O.A., Selikhovkin A.V., Analiz faktorov oslableniya khvoynykh drevostoev v rekreatsionnykh nasazhdeniyakh (Analysis of weakening factors of coniferous stands in recreational plantations), *Biosfera*, 2019, Vol. 11, No. 1, pp. 48–61.
- Arhiv pogody v Sankt-Peterburge* (St. Petersburg weather archive), available at: https://tr5.ru/Архив_погоды_в_Санкт-Петербурге (October 10, 2020)
- Bui D.D., Leont'ev L.L., Baryshnikova S.V., Selikhovkin A.V., Posledstviya massovogo razmnzheniya topolevoi nizhnestoronnei moli-pestryanki i drugikh miniruyushchikh mikrocheshuekrylykh v Sankt-Peterburge (Consequences of the mass reproduction of the Poplar Moth *Phyllonorycter populifoliella* and other mining moths in St. Petersburg), *Lesovedenie*, 2021, No. 4, pp. 372–378.
- Bukharina I.L., Povarnitsina T.M., Vedernikov K.E., *Ekologo–biologicheskie osobennosti drevesnykh rastenii v urbanizirovannoi srede* (Ecological and biological characteristics of woody plants in an urbanized environment), Izhevsk: IzhGSKhA, 2007, 216 p.
- Byalt V.V., Firsov G.A., Byalt A.V., Orlova L.V.S., Kul'turnaya flora g. Sankt-Peterburga (Rossiya) i ee analiz (Cultural flora of St. Petersburg (Russia) and its analysis), *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2019, No. 2(30), pp. 11–103, available at: http://vestospu.ru/archive/2019/articles/2012_2030_2019.pdf (October 10, 2020)
- Cook E.R., *A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization*, Dissertation, University of Arizona, Tucson, 1985, 183 p.
- Cook E.R., Kairiukstis L.A., *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Science*, Boston; London: Kluwer Acad. Publ, 1990, 394 p.
- Fedorova N.B., Osipov D.V., Grigor'ev A.S., Rezul'taty monitoringa zelenykh nasazhdenii obshchego pol'zovaniya v 2007 godu (Results of the monitoring of public green areas in 2007), In: *Okhrana okruzhayushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2007 g.* (Environmental protection, nature management and ensuring environmental safety in Saint Petersburg for 2007), Saint Petersburg: Sezam-Print, 2008, pp. 347–355.
- Fedorova N.B., Zelenye nasazhdeniya Sankt-Peterburga i monitoring ikh sostoyaniya (Green plantations in St. Petersburg and monitoring of their condition), *Lesnoi vestnik*, 2009, No. 5, pp. 202–206.
- Fritts H.C., *Tree Rings and climate*, London: Academic Press Inc., 1976, 567 p.
- Jillian W.G., Clive G.J., Todd E.D., Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City, *Nature*, 2003, No. 424, pp. 183–187.
- Khodachek O.A., *Faktory, opredelyayushchie sostoyanie khvoynykh porod v nasazhdeniyakh, imeyushchikh rekreatsionnoe znachenie v Sankt-Peterburge, Leningradskoi oblasti i sosednikh territoriyakh. Avtoreferat diss. kand. biol. nauk*

- (Factors determining the condition of conifers in plantations of recreational value in St. Petersburg, Leningrad Oblast and neighboring territories. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Saint Petersburg, 2019, 19 p.
- Koeser A.K., Gilman E.F., Paz M., Harchick C., Factors influencing urban tree planting program growth and survival in Florida, United States, *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, No. 13(4), pp. 655–661.
- Kovyazin V.F., Minkevich I.I., Shabnov V.M., *Drevesnye porody zelenykh nasazhdenii Sankt-Peterburga i Pushkina, monitoring ikh sostoyaniya i sposoby ego uluchsheniya* (Tree species of plantations in St. Petersburg and Pushkin, their monitoring and ways to improve their condition), Saint Petersburg: SPbGPU, 2002, 88 p.
- Lovelius N.V., *Dendroindikatsiya* (Dendroindication), Saint Petersburg: PANI, 2000, 313 p.
- Lovelius N.V., *Izmenchivost' prirosta derev'ev. Dendroindikatsiya prirodnykh protsessov i antropogennykh vozdviizhii* (Variability of tree growth. Dendroindication of natural processes and anthropogenic influences), Leningrad: Nauka, 1979, 232 p.
- Lovelius N.V., *Stanovlenie dendroindikatsii kak napravleniya nauchnykh i prikladnykh issledovaniy* (Formation of dendroindication as a direction of scientific and applied research), Saint Petersburg: Evropeiskii dom, 2001, 312 p.
- Lovett, G.M., Traynor M.M., Pouyat R.V., Carreiro M.M., Wei-Xing Zhu, Baxter J.W., Atmospheric deposition to oak forests along an urban-rural gradient, *Environmental Science and Technology*, 2000, No. 34(20), pp. 4294–4300.
- Lu J.W.T., Svendsen E.S., Campbell L.K., Greenfeld J., Braden J., King K.L., Falxa-Raymond N., Biological, social, and urban design factors affecting young street tree mortality in New York City, *Cities and the Environment*, 2010, No. 3(1), Article 5, pp. 1–15.
- Mamaev N.A., Bui D.D., Selikhovkin A.V., Vtoraya vspyshka razmnzheniya topolevoi moli-pestryanki Phyllonorycter populifoliella v Sankt-Peterburge (Second outbreak of poplar moth Phyllonorycter populifoliella in St. Petersburg), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2020, No. 233, pp. 81–94.
- Materialy otsenki vozdviizhiya na okruzhayushchuyu sredu. Metodiki otsenki sostoyaniya zelenykh nasazhdenii Sankt-Peterburga i normativov kachestva zelenykh nasazhdenii*, (Materials for assessing the impact on the environment. Methods for assessing the condition of green areas in St. Petersburg and the quality standards for green areas), Saint Petersburg, 2020, 72 p. available at: www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2020/09/24/05/OBOS_Metodika_eko-otsenki_3H_2020_posle_obscuzhdeniiy.pdf (October 10, 2020).
- Moshchenikova N.B., *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya zelenykh nasazhdenii Sankt-Peterburga, Avtoreferat diss. kand. biol. nauk* (Assessment of the ecological condition of green plantations in St. Petersburg. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Moscow, 2011, 19 p.
- Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye* (Research and practical handbook on climate of the USSR. Series 3. Long-term data), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, Parts 1–6, Vol. 3, Karel'skaya ASSR, Leningradskaya, Novgorodskaya, Pskovskaya, Kalininskaya i Smolenskaya oblasti, 693 p.
- Schweingruber F.H., *Tree Rings and Environment: Dendroecology*, Bern: Paul Haupt, 1996, 609 p.
- Selikhovkin A.V., Drenkhan R., Mandel'shtam M.Y., Musolin D.L., Invazii nasekomykh – vrediteli i gribnykh patogenov drevesnykh rastenii na severo-zapade evropeiskoi chasti Rossii (Invasions of insect pests and fungal pathogens of woody plants into the northwestern part of European Russia), *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2020, Vol. 65, No. 2, pp. 263–283.
- Selikhovkin A.V., Osobennosti populyatsionnoi dinamiki topolevoi nizhnestoronnei moli-pestryanki Phyllonorycter populifoliella Tr. (Gracillariidae) (Peculiarities of the population dynamics of the poplar lowersided mottled moth Phyllonorycter populifoliella Tr. (Gracillariidae)), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2010, Vol. 192, pp. 220–235.
- Selikhovkin A.V., Varentsova E.Y., Zarudnaya G.I., Popovichev B.G., Musolin D.L., Vrediteli i patogeny drevesnykh rastenii v rekreatsionnykh nasazhdeniyakh Sankt-Peterburga i okrestnostei (Woody plant pests and pathogens in recreational plantations in St. Petersburg and surroundings), *Les Rossi: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie* (Forests of Russia: politics, industry, science, education), Proc. of IV Sci.-Tech. Conf, Saint Petersburg: SPbGLTU, pp. 157–160.
- Timofeeva Y.A., *Otsenka vliyaniya listoyadnykh vrediteli na sostoyanie lipy v parkovykh nasazhdeniyakh Sankt-Peterburga. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* (Evaluation of the influence of phyllophagous pests on the state of lime in parks of St. Petersburg. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), St. Petersburg, 2015, 21 p.
- Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V., *Growth dynamics of conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments. Ecological Studies*, Springer, Berlin-Heidelberg, 2006, 358 p.
- Voloshchuk A.Y., Voronkov N.N., *Zelenye nasazhdeniya vnutrikvartal'nogo ozeleneniya v Sankt-Peterburge* (Green spaces for intra-block landscaping in St. Petersburg), Saint Petersburg: SPbGLTA, 2009, 47 p.
- Vrecenak A.J., Vodak M.C., Fleming L.E., The influence of site factors on the growth of urban trees, *J. Arboriculture*, 1989, No. 15(9), pp. 206–209.
- Zhillet D.G., *Zagryaznenie vozdukh i zhizn' rastenii* (Air pollution and plant life), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, 536 p.