

Е. С. Овчинникова
О. Л. Воскресенская

Морфометрические параметры представителей рода *Populus* в условиях города Йошкар-Олы

В работе произведен сравнительный анализ ответных реакций тополя бальзамического (*Populus balsamifera*) и тополя советского пирамидального (*Populus sibirica* × *pyramidalis*) на факторы урбанизированной среды на морфометрическом уровне в условиях города Йошкар-Олы. Изучены места произрастания видов в различных функциональных зонах города: промышленной, селитебной и общественно-жилого назначения. Выявлены основные факторы, влияющие на формирование повышенного содержания загрязняющих веществ в воздушном пространстве исследуемых районов. Проведена сравнительная оценка состояния окружающей среды и растений на основе флуктуирующей асимметрии листьев тополя бальзамического и тополя советского пирамидального, выявлены основные факторы (такие как содержание SO₂ и CO₂ в воздухе), оказывающие влияние на степень ее развития ввиду присутствия основного источника загазованности — автотранспорта. Охарактеризована плотность крон исследуемых видов и сделаны предположения о факторах, влияющих на формирование этого параметра. Статистический анализ данных на основе коэффициента вариации морфометрических параметров (высота дерева, диаметр ствола) представителей рода Тополь выявил различия между двумя видами как между собой, так и между местами произрастания. Описаны особенности развития двух видов в нескольких районах города, различающихся степенью антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: тополь, урбанизированная среда, флуктуирующая асимметрия, крона, антропогенные факторы.

Введение

Древесные насаждения являются одним из самых эффективных и недорогих средств нивелирования воздействия антропогенных факторов городской среды. Выполняя помимо эстетической еще ряд функций, необходимых для поддержания санитарно-гигиенических условий урбосреды, растительные организмы являются неотъемлемой частью городской инфраструктуры. Но в то же время, активно участвуя в регулировании состояния окружающей среды, деревья подвергаются воздействию этих факторов как организм и вырабатывают ответную реакцию на это воздействие как на морфометрическом, так и на физиологическом уровнях.

В связи с этим первостепенное значение приобретает комплексный подход к изучению ответных реакций растительных организмов на различные уровни содержания инородных веществ в окружающей среде. Особое внимание уделяется многолетним листовым деревьям с известной высокой устойчивостью к воздействию негативных антропогенных факторов, а также видам, обладающим высокой декоративностью, но с устойчивостью, требующей дополнительных исследований для ее окончательного установления [10].

Наиболее распространенным видом древесных растений в центральной России наряду с *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Picea abies*, используемых в озеленении городских пространств, является тополь бальзамический (*Populus balsamifera*). Он активно участвует в формировании благоприятных условий городских территорий и предприятий, характеризуется высокой устойчивостью к условиям городской среды, а также к низким температурам в зимний период. К сожалению, этот вид подвержен заражению тополевой нижнесторонней молью — пестрянкой (*Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke)), «пылит» во время плодоношения, перенося на опушенных сережках активные аллергены, и

© Овчинникова Е. С., Воскресенская О. Л., 2022

подвержен хрупкости древесины и бурелому на поздних этапах развития, создавая опасность для людей и их имущества [4]. В связи с этим в озеленении все чаще используют более декоративные и устойчивые к заболеваниям виды рода Тополь, такие как тополь советский пирамидальный (*Populus siewietica* × *pyramidalis*) [3]. Кроме того, в условиях города Йошкар-Олы этот вид принимает активное участие в формировании комфортных санитарно-гигиенических условий (снижение уровня шума и загазованности), проявляет высокие адаптационные способности на физиологическом уровне [11; 14; 15].

Цель работы — изучение и сравнение морфометрических параметров в условиях различного антропогенного воздействия у некоторых видов рода Тополь (*Populus*) в городе Йошкар-Ола.

Задачи:

- охарактеризовать морфометрические особенности *Populus siewietica* × *pyramidalis* и *Populus balsamifera* в условиях города Йошкар-Олы;
- произвести оценку состояния окружающей среды на основании флуктуирующей асимметрии двух видов рода Тополь;
- охарактеризовать особенности воздействия урбосреды на состояние представителей рода Тополь.

Материалы и методы

Исследования проводились в летний период 2020 г. на территории г. Йошкар-Олы. Объектами исследования являлись однорядные одновидовые насаждения из особей тополя советского пирамидального (*Populus siewietica* × *pyramidalis* Jabl.) и тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) зрелого (средневозрастного) генеративного состояния, произрастающие в районах города с различной степенью антропогенной нагрузки (рис. 1). Сбор растительного материала проводился в конце вегетационного периода (август) в каждом из районов исследования, с высоты вытянутой вверх руки. Все места исследований, за исключением ул. Анциферова, располагались вдоль автомагистралей городского значения (расстояние до насаждений — от 1,5 до 3 м) (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика районов исследований на территории г. Йошкар-Ола

Номер района	Название улиц(ы)	Функциональная зона согласно генеральному плану города	Краткое описание
1	Пересечение ул. Лебедева и ул. Героев Сталинградской битвы	Жилая (селитебная) зона	Граничит с зоной индивидуального жилищного строительства и с особо охраняемой территорией муниципального значения — лесопарком Сосновая роща
2	Пересечение ул. Кирова и Ленинского проспекта	Зона делового, общественного и коммерческого назначения	Входит в состав шумовой зоны аэродрома (д. Савино); весной 2020 г. здесь началось масштабное строительство и реконструкция автодорожной сети, что повлекло за собой увеличение доли грузовых и крупногабаритных автомашин в автотранспортном потоке
3	Ул. Йывана Кырли	Зона общественно-жилого назначения / зона делового, общественного и коммерческого назначения	Единственный прямой путь из центральной части города в девятый микрорайон и прилегающие к нему территории, что приводит к повышенному скоплению автотранспортных единиц и содержанию продуктов сгорания топлива, а также сопутствующих элементов отработки механизмов автотранспорта

Продолжение табл. 1

Номер района	Название улиц(ы)	Функциональная зона согласно генеральному плану города	Краткое описание
4	Ул. Суворова	Зона производственно-коммунальных объектов (Южный промышленный район)	Здесь расположены крупные заводы города: АО «Механико-машиностроительный завод» («ММЗ») и АО «Завод полупроводниковых приборов» («ЗПП»); высокая интенсивность движения автотранспорта, в особенности общественного и грузового
5	Ул. Анциферова	Жилая (селитебная) зона	Зона застройки многоэтажными жилыми домами; территория детского сада № 29; движение автотранспорта сведено практически к нулю — единичные автомобили появляются только в утренние и вечерние часы

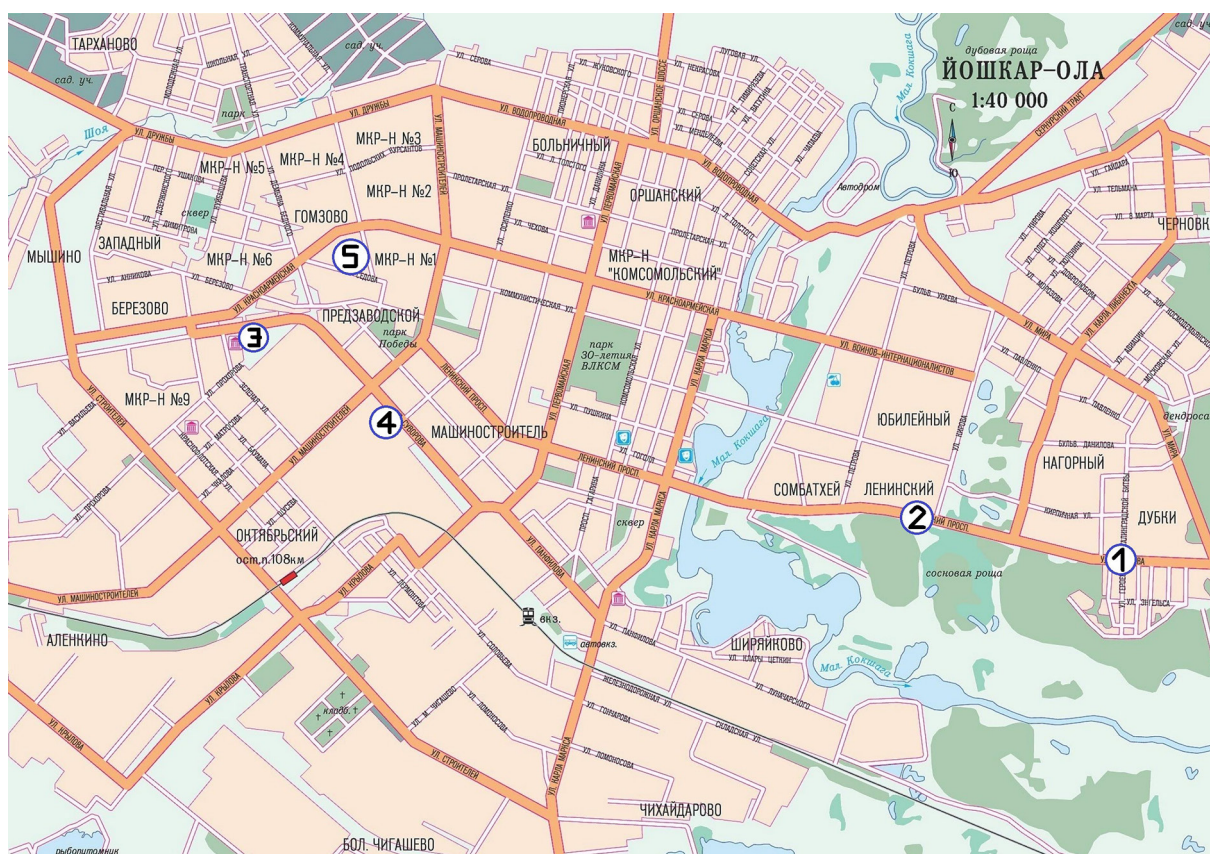


Рис. 1. Схема расположения районов исследований в г. Йошкар-Оле

По лесорастительному районированию Республика Марий Эл относится к Ветлужско-Приуральскому округу северной и южной подзоны зоны смешанных лесов провинции Восток Русской равнины [7]. Город Йошкар-Ола располагается по обе стороны реки Малая Кокшага, протекающей по равнинной территории в центральной части Марийской низменности. Для города характерен умеренно континентальный климат. В теплый период года преобладают ветра северо-восточного, северного, северо-западного и западного направлений.

Расчеты по определению степени флуктуирующей асимметрии листьев и присвоение балла состояния окружающей среды проводили по следующей методике. Производились

промеры морфометрических показателей листовой пластинки: 1 — расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 2 — расстояние между концами этих жилок; 3 — длина второй от основания листа жилки второго порядка; 4 — ширина половинки листа (посередине листовой пластинки); 5 — угол между центральной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка. Все эти показатели измерялись для левой и правой частей листовой пластинки. Коэффициент ФА определяли как среднюю арифметическую суммы относительной величины асимметрии по всем признакам каждой особи, отнесенной к числу используемых признаков [9].

Высоту деревьев (в метрах) измеряли с помощью высотомера SUUNTO PM-5/1520, диаметр ствола (в см) высчитывался после измерения обхвата ствола на высоте 130 см от поверхности почвы по стандартной формуле при известной длине окружности (С): $D = C/\pi$. Для всех параметров находили среднее значение (М) и ошибку среднего значения (m). Для определения степени варьирования количественных признаков рассчитывали коэффициент вариации S (%), который оценивали по шкале Мамаева [8]: более 40% — очень высокий уровень изменчивости, 21—40% — высокий уровень, 13—20% — средний, 7—12% — низкий, менее 7% — очень низкий уровень изменчивости. Оценку плотности крон древесных растений проводили визуально (%) [1]. Для исследования воздушного пространства использовался газоанализатор ПГА-200 с насадками для количественного определения содержания CO₂ (%) и SO₂ (мг/м³).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 13.3.

Результаты и обсуждение

В целом город Йошкар-Ола характеризуется благоприятной экологической обстановкой, но в воздушном пространстве ежегодно отмечается увеличение содержания диоксида углерода и диоксида серы. Кроме того, в последние годы отмечаются повышенные уровни запыленности улиц и воздуха в целом. Одной из возможных причин специалисты называют значительное увеличение количества единиц автотранспорта на территории города [5; 10].

Согласно результатам нашего исследования, содержание диоксида углерода в местах исследований варьировало от 0,0075 до 0,08% (рис. 2). Наибольшее содержание отмечено на ул. Анциферова — 0,08%, что связано с закрытым непродуваемым пространством, создаваемым жилыми домами [2]. Остальные места исследований характеризуются относительно хорошей продуваемостью, что сказывалось на содержании диоксида углерода. Наименьшее содержание отмечено на ул. Кирова и Ленинском проспекте (0,007%), в остальных местах исследований содержание углекислого газа различалось между собой в 1,6—2,3 раза. Однофакторный дисперсионный анализ выявил зависимость фактора «содержание диоксида углерода» от места исследований ($F = 211,1667$; $P < 10^{-4}$); множественное сравнение выборок (Шеффе-тест) мест исследований подтвердил статистически значимую разницу между ними по величине содержания CO₂.

В дальнейшем были проведены исследования по определению количества диоксида серы в разных районах города Йошкар-Олы. Были получены следующие данные (рис. 3): на ул. Анциферова не было отмечено наличие диоксида серы в воздухе, а на улице Й. Кырли его содержание было максимальным (0,72 мг/м³). На остальных улицах содержание SO₂ варьировало от 0,17 до 0,52 мг/м³. Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил статистически значимую зависимость содержания SO₂ от места исследования ($F = 92,642$; $P < 10^{-4}$). Анализ с использованием критерия Шеффе подтвердил, что районы исследования статистически значимо различаются между собой. Максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК) диоксида серы в воздухе населенных мест

составляет $0,5 \text{ мг/м}^3$, а среднесуточная — $0,05 \text{ мг/м}^3$ [13]. Во всех исследуемых районах, кроме ул. Анциферова, отмечено превышение ПДК_{с.с.}, а превышение ПДК_{м.р.} — на ул. Й. Кырли и Суворова.

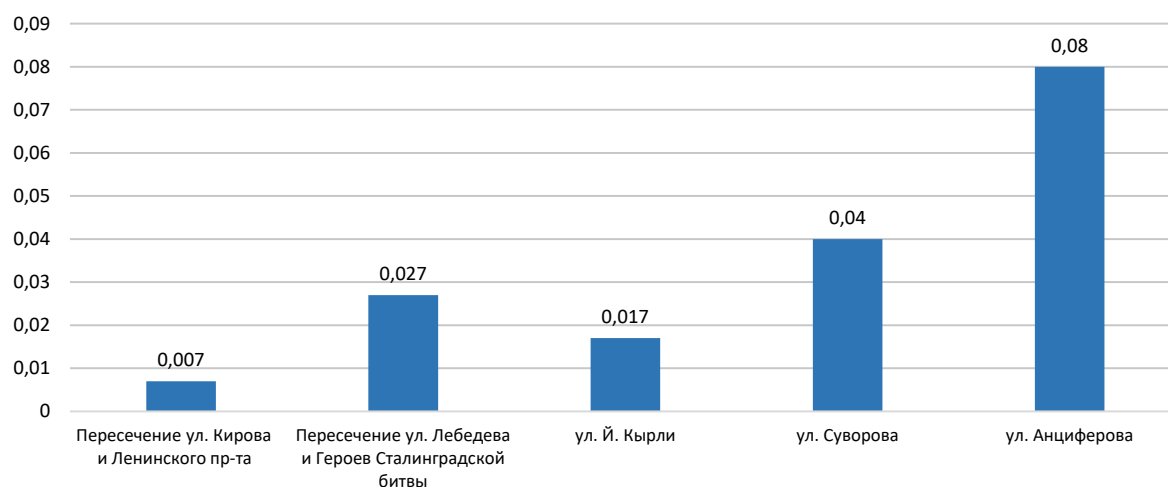


Рис. 2. Содержание диоксида углерода в воздухе в различных районах г. Йошкар-Ола, %

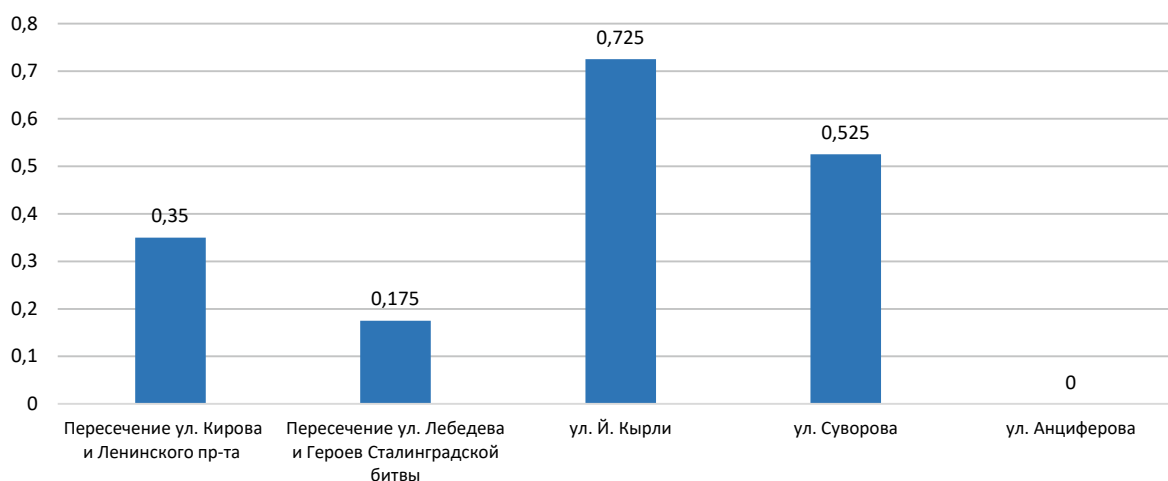


Рис. 3. Содержание диоксида серы в воздухе в различных районах г. Йошкар-Ола, мг/м³

Одними из морфометрических параметров древесных организмов, по которым оценивается их внешний вид, эффективность выполнения санитарно-гигиенической функции, а также равномерность и степень их развития, являются высота ствола, его диаметр и плотность кроны [17]. Для тополя советского пирамидального высота ствола — до 25 м (в благоприятных условиях южных регионов — до 40 м) говорит о достижении стабильной фазы развития, для тополя бальзамического это значение схоже и равняется 24—25 м [16].

Наши исследования показали, что оба представителя рода *Populus* различаются по исследуемым параметрам (табл. 2). И для тополя бальзамического, и для тополя советского пирамидального в насаждениях характерны низкие и очень низкие коэффициенты вариации высоты дерева и диаметра ствола. Это может говорить о том, что исследуемые виды растут равномерно и на определенном этапе развития достигают конкретной высоты [17]. Но в то же время в пределах одного места исследований коэффициенты вариации

параметров для каждого из видов значительно различались. Это, предположительно, может быть связано с тем, что *P. sowietica* × *piramydalis* является гибридом, полученным от скрещивания тополя Болле и белого тополя, и для каждого экземпляра характерна своя изменчивость в пределах вида, а также разная высота и степень пирамидальности кроны [3]. Кроме того, в результате корреляционного анализа (табл. 4) было выявлено статистически значимое влияние повышенного содержания CO₂ на развитие диаметра ствола тополя советского пирамидального.

Таблица 2

Статистические показатели морфометрических характеристик представителей рода
Тополь в условиях города Йошкар-Олы

Показатель	Пересечение ул. Кирова и Ленинского пр-та		Пересечение ул. Лебедева и ул. Героев Сталинградской битвы		ул. Й. Кырли		ул. Суворова		ул. Анциферова	
	1*	2*	1	2	1	2	1	2	1	2
	Высота дерева, м									
<i>M</i>	20,18	22,74	22,16	14,65	23,24	20,3	19,79	19,56	21,76	22,62
<i>m</i>	0,36	1,09	0,63	0,73	0,51	0,66	0,88	0,38	0,4	1,2
<i>S, %</i>	4,07	10,75	6,42	11,1	4,92	7,30	9,91	4,40	4,06	11,85
	Диаметр ствола, см									
<i>M</i>	35,35	46,37	47,38	42,80	47,25	42,2	33,82	53,80	45,28	55,9
<i>m</i>	1,41	1,96	1,88	0,70	1,67	1,53	1,65	1,77	1,72	1,9
<i>S, %</i>	8,94	9,47	8,88	3,66	7,94	8,15	10,88	7,37	8,48	6,86

* 1 — тополь бальзамический, 2 — тополь советский пирамидальный.

Плотность крон исследуемых видов различалась как между собой, так и в зависимости от места произрастания (рис. 4). Наименьшая плотность крон у *P. balsamifera* и *P. sowietica* × *piramydalis* отмечена на ул. Суворова и на пересечении ул. Кирова и Ленинского проспекта ввиду санитарной обрезки, необходимой для обеспечения безопасности функционирования линий электропередач и линий контактной сети троллейбусного транспорта, а также значительного ветрового воздействия на открытом пространстве. Растения, произрастающие на ул. Й. Кырли и пересечении улиц Лебедева и Героев Сталинградской битвы, характеризовались наибольшими процентами плотности кроны (от 88 до 91%), где не отмечено искусственного формирования кроны. В условиях закрытого пространства селитебной зоны на улице Анциферова плотность крон тополя бальзамического была на 10—12% ниже, чем у тополя советского пирамидального. Это также связано с подрезкой ветвей и обеспечением безопасности людей и их имущества от ветровала раскидистых ветвей *P. balsamifera*.

Флуктуирующая асимметрия (ФА) является показателем, который отражает состояние не только окружающей среды, но и самого растения. Кроме того, имеются данные зарубежных исследователей, что ФА может формироваться не только под воздействием антропогенных факторов, но и при неблагоприятных климатических и почвенных условиях, а также при наличии каких-либо болезней [18].

Авторами рассчитывался индекс флуктуирующей асимметрии листовой пластинки тополя бальзамического и тополя советского пирамидального, которые произрастали в условиях, различных по степени антропогенной нагрузки. В зависимости от индекса

ФА состояние среды и организма оценивалось следующим образом: при величине установленного показателя индекса асимметрии листовых пластинок менее 0,040 состояние растения и среды оценивалось как стабильное (1); от 0,040 до 0,044 — незначительное отклонение (2); от 0,045 до 0,049 — средний уровень отклонения (3); от 0,050 до 0,054 — значительное отклонение (4), выше 0,054 — критическое состояние (5) [6].

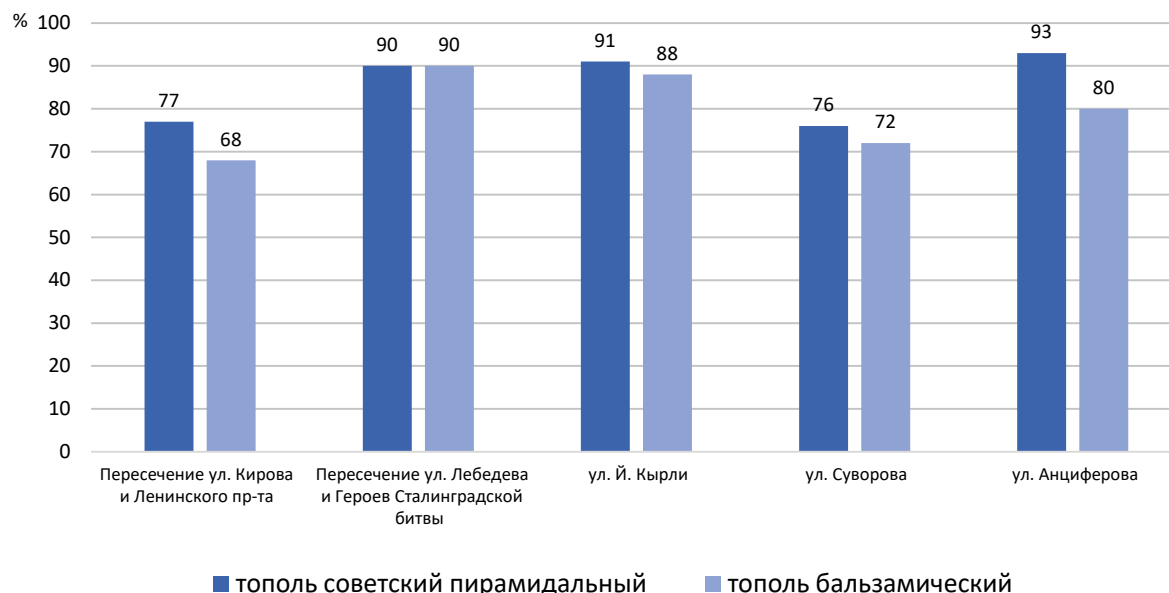


Рис. 4. Плотность крон исследуемых видов в различных условиях произрастания

Согласно индексам флуктуирующей асимметрии листовых пластинок *P. balsamifera* и *P. sibirica × piramidalis* (табл. 3), качество среды на исследуемых площадях характеризовалось как «существенные отклонения от нормы» и «критическое состояние», что может говорить об успешном процессе адаптации и ответе древесных растений на воздействие среды (рис. 5).

Таблица 3

Показатели индекса флуктуирующей асимметрии листьев тополя советского пирамидального и тополя бальзамического, произрастающих в районах с различной степенью антропогенной нагрузки в г. Йошкар-Ола

Место исследований	<i>Populus sibirica × piramidalis</i>	<i>Populus balsamifera</i>
Пересечение ул. Кирова и Ленинского пр-та	0,0531	0,038
Пересечение ул. Лебедева и ул. Героев Сталинградской битвы	0,0568	0,0533
ул. Й. Кырли	0,0617	0,0574
ул. Суворова	0,066	0,0546
ул. Анциферова	0,0533	0,051

На улицах Й. Кырли (0,0617 — *P. sibirica × piramidalis*, 0,0574 — *P. balsamifera*) и Суворова (0,066 — *P. sibirica × piramidalis*, 0,0546 — *P. balsamifera*) состояние среды характеризовалось баллом «5» для обоих видов: здесь было отмечено наибольшее содержание SO₂ по сравнению с остальными районами исследования, соответственно сами растительные организмы находятся в состоянии постоянного поддержания соответствующего уровня ответной реакции на раздражители.

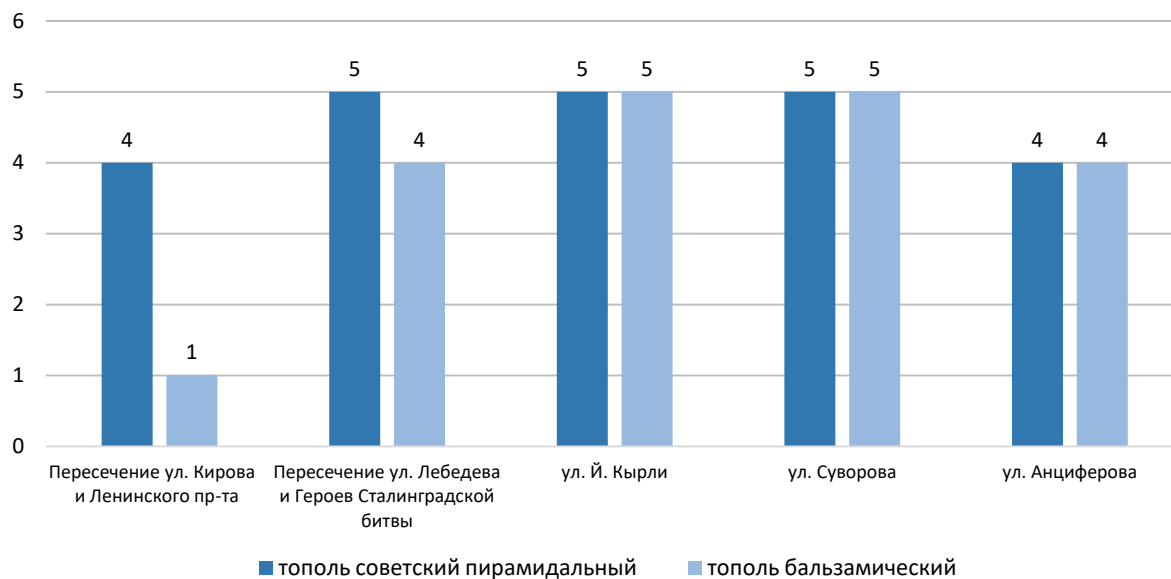


Рис. 5. Баллы состояния окружающей среды на основе индекса флуктуирующей асимметрии листьев *P. balsamifera* и *P. siewietica* × *piramidalis*

На улице Анциферова и тополь советский пирамидальный (индекс ФА — 0,0533), и тополь бальзамический (0,051) характеризовались индексом ФА, соответствующим существенным отклонениям состояния среды от нормы. Согласно нашим исследованиям, здесь отмечено наибольшее содержание диоксида углерода, что могло способствовать развитию высокого индекса флуктуирующей асимметрии. На пересечении улицы Кирова и Ленинского проспекта зафиксирована значительная разница в оценке качества среды на основе данных двух видов: для *P. balsamifera* условия произрастания оценивались как стабильные (индекс ФА — 0,038), в то же время для *P. siewietica* × *piramidalis* они были на уровне существенных отклонений от нормы (индекс ФА — 0,0531). Растения произрастают непосредственно вдоль автомобильной дороги и испытывают существенное воздействие воздушных потоков автотранспорта ввиду особенностей строения кроны — она начинается от самой поверхности почвы (так называемая модификационная изменчивость). Проведенный анализ коэффициентов корреляции (табл. 4) выявил у тополя советского пирамидального прямую зависимость индекса флуктуирующей асимметрии и содержания SO_2 : наибольший индекс ФА листьев этого вида отмечен на улицах с повышенным содержанием диоксида серы (ул. Й. Кырли и ул. Суворова).

Таблица 4

Показатели коэффициента корреляции морфометрических параметров для *P. balsamifera* и *P. siewietica* × *piramidalis* в зависимости от содержания CO_2 и SO_2

Морфометрические параметры	<i>Populus balsamifera</i>		<i>Populus siewietica</i> × <i>piramidalis</i>	
	CO_2	SO_2	CO_2	SO_2
Индекс ФА	0,289285157	0,305919239	-0,146248823	0,728312308
Диаметр ствола	0,252038223	0,306146235	0,704961178	-0,407944009
Высота дерева	0,024026045	0,091299819	0,239610334	-0,01706338
Плотность кроны	0,068244778	-0,012760981	0,42613666	-0,322172877

Заключение

Содержание диоксида углерода в воздушном пространстве на изучаемых улицах сильно варьирует. На процентное содержание CO_2 в воздухе населенных мест первоочередное влияние оказывает продуваемость территорий. Содержание диоксида серы в

воздухе на улицах г. Йошкар-Ола местами превышало значения среднесуточной ПДК в 3,5—14,5 раза и максимально разовой в 1,05—1,45 раза.

И тополь бальзамический, и тополь советский пирамидальный характеризуются равномерным развитием в условиях Йошкар-Олы. Но для *P. sowietica* × *pyramydalis* характерно проявление морфологической изменчивости ввиду его происхождения.

Плотность крон двух видов рода Тополь в условиях города зависела напрямую от устойчивости каждого из них к ветровому воздействию, а также санитарной обрезки. Более декоративная форма кроны тополя советского пирамидального по сравнению с тополем бальзамическим имеет преимущество в пространственно-структурной организации территории города.

В зависимости от степени флуктуирующей асимметрии листовых пластинок двух видов качество среды в различных районах города Йошкар-Олы оценивалось от 4 до 5 баллов, что соответствует существенным (значительным) отклонениям от нормы и критическому состоянию среды соответственно. На одной из исследуемых территорий эти баллы значительно различались, что может быть обусловлено не только большей степенью адаптации одного вида по сравнению с другим, но и воздействием сторонних факторов среды (ветровое воздействие).

Таким образом, в условиях Йошкар-Олы ввиду специфических адаптаций на морфологическом уровне к условиям повышенной антропогенной нагрузки тополь бальзамический и тополь советский пирамидальный рекомендуется применять в озеленении города, отдавая предпочтение более декоративному, отзывчивому и устойчивому к воздействию физических факторов *Populus sowietica* × *pyramidalis*.

Благодарности. Авторы выражают благодарность С. А. Богданову за помощь в сборе и подготовке растительного материала для исследований.

Список использованной литературы

1. Анучин Н. П. Лесная таксация : учебник для вузов. 5-е изд., доп. М. : Лесная промышленность, 1982. 552 с.
2. Балакин В. В., Сидоренко В. Ф. Обеспечение гигиенических нормативов выбросов автомобильного транспорта в воздухе жилой застройки градостроительными средствами // Современное строительство и архитектура. 2016. № 1 (01). С. 7—12.
3. Брынцев В. А., Махрова Т. Г., Аксенов П. А. Тополя селекции А. С. Яблокова в зеленых насаждениях Москвы и Московской области [Электронный ресурс] // Лесохозяйственная информация : электрон. сетевой журнал. 2019. № 2. С. 103—110. URL: http://lhi.vniilm.ru/PDF/2019/2/LHI_2019_02-10-Bryncev.pdf. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.2.10.
4. Воробьева М. В., Залесов С. В., Крекова Я. А., Михайлов Ю. Е., Соловьева М. В. Альтернатива тополю бальзамическому (*Populus balsamifera* L.) в озеленении г. Екатеринбурга // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 11-1 (101). С. 92—98.
5. Доклад об экологической ситуации в Республике Марий Эл за 2020 год. Ижевск : ООО «Принт», 2021. 180 с.
6. Захаров В. М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология. 2001. № 3. С. 164—168.
7. Курнаев С. Ф. Лесорастительное районирование СССР. М. : Наука, 1973. 203 с.
8. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М. : Наука, 1973. 284 с.
9. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Утв. Распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р. М., 2003. 24 с.
10. Мониторинг атмосферного воздуха на территории Республики Марий Эл в 2020 году / Территориальный центр «Маргеомониторинг», Мин-во природных ресурсов, экологии и охраны окружающей среды Республики Марий Эл. Йошкар-Ола, 2020. 5 с.
11. Овчинникова Е. С., Храмов А. Н., Воскресенская О. Л. Исследование морфометрических показателей листьев тополя советского пирамидального в условиях городской среды // Современные проблемы

естественных наук и медицины : сб. статей Всерос. науч. конф., Йошкар-Ола, 18—20 мая 2020 г. Йошкар-Ола : Марийский гос. ун-т, 2020. С. 94—97.

12. Пирогова Д. В., Сунцова Л. Н., Иншаков Е. М. Адаптация древесных растений к воздействию городской среды // Хвойные бореальной зоны. 2009. № 2. С. 221—223.

13. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». URL: <https://base.garant.ru/400274954/> (дата обращения: 26.12.2021).

14. Скочилова Е. А., Закамская Е. С. Изменение морфологических показателей и содержания аскорбиновой кислоты у видов рода тополь (*Populus* L.) на территории г. Йошкар-Олы // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. № 4-1. С. 232—235.

15. Соловьева О. С., Соколова Н. А., Бажин О. Н., Гусейнова А. Р. Зеленые насаждения как средство улучшения экологии города // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 1. С. 75—83.

16. Царев А. П. Сортоведение тополя. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1986. 152 с.

17. Шавнин С. А., Алесенков Ю. М., Андреев Г. В., Поздеев Е. Г., Иванчиков С. В. Соотношение высот и диаметров основных лесобразующих пород в Вишерском заповеднике // Аграрный вестник Урала. 2009. № 11. С. 118—121.

18. Graham J. H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications // Symmetry. 2010. Vol. 2, N 2. P. 466—540.

Поступила в редакцию 27.12.2021

Овчинникова Елена Сергеевна, аспирант
Марийский государственный университет
Российская Федерация, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1
E-mail: ElenkaOni@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-9387-2478

Воскресенская Ольга Леонидовна, доктор биологических наук, профессор
Марийский государственный университет
Российская Федерация, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1
E-mail: voskres2006@rambler.ru
ORCID: 0000-0002-4710-6641

UDC 504.5:574(470.51)

E. S. Ovchinnikova
O. L. Voskresenskaya

Morphometric parameters of some species of the *Populus* genus in the conditions of Yoshkar-Ola city

The paper provides a comparative analysis of the responses of the balsam poplar (*Populus balsamifera*) and the Soviet pyramidal poplar (*Populus sowietica* × *pyramidalis*) to the factors of the urbanized environment at the morphometric level. The habitats of the species were studied in various functional zones of the city: industrial, residential and public-residential. The main factors influencing the formation of an increased content of pollutants in the air of the areas under study have been identified. A comparative assessment of the environment state and plants was carried out on the base of the fluctuating asymmetry of the leaves of the balsam poplar and the Soviet pyramidal poplar; factors influencing the degree of its development were revealed. The density of the crowns of the studied species is characterized and assumptions are made about the factors influencing the formation of this parameter. Statistical analysis of the data based on the coefficient of variation of morphometric parameters (tree height, stem diameter) of the Poplar genus representatives revealed differences between the two species, both between themselves and between the places of growth. The features of the development of two species in several areas of the city, which differ in the degree of anthropogenic load, are described.

Key words: Poplar, urbanized environment, fluctuating asymmetry, tree crown, anthropogenic factors.

Ovchinnikova Elena Sergeevna, Postgraduate student
Mari State University
Russian Federation, 424000, Yoshkar-Ola, pl. Lenina, 1
E-mail: ElenkaOni@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-9387-2478

Voskresenskaya Olga Leonidovna, Doctor of Biological Sciences, Professor
Mari State University
Russian Federation, 424000, Yoshkar-Ola, pl. Lenina, 1
E-mail: voskres2006@rambler.ru
ORCID: 0000-0002-4710-6641

References

1. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya: uchebnyk dlya vuzov. 5-e izd., dop.* [Forest taxation. A textbook for universities. 5th ed., supplement]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p. (In Russian)
2. Balakin V. V., Sidorenko V. F. Obespechenie gigienicheskikh normativov vybrosov avtomobil'nogo transporta v vozdukh zhiloi zastroiki gradostroitel'nymi sredstvami [City development for keeping pollutant concentrations from motor vehicles in residential areas in accordance with air quality standards]. *Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura*, 2016, no. 1 (01), pp. 7—12. (In Russian)
3. Bryntsev V. A., Makhrova T. G., Aksenov P. A. Topolya selektsii A. S. Yablokova v zelenykh nasazhdeniyakh Moskvy i Moskovskoi oblasti [Poplars of A. S. Yablokov in Green Areas of the City of Moscow and Settlements of the Moscow Region]. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya: elektron. setevoi zhurnal — Forestry Information*, 2019, no. 2, pp. 103—110. Available at: http://lhi.vniilm.ru/PDF/2019/2/LHI_2019_02-10-Bryntsev.pdf. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.2.10. (In Russian)
4. Vorob'eva M. V., Zalesov S. V., Krekova Ya. A., Mikhailov Yu. E., Solov'eva M. V. Al'ternativa topolyu bal'zamicheskomu (*Populus balsamifera* L.) v ozelenenii g. Ekaterinburga [An alternative to balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) in Yekaterinburg landscaping]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal — International Research Journal*, 2020, no. 11-1 (101), pp. 92—98. (In Russian)
5. *Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Respublike Marii El za 2020 god* [Report on the environmental situation in the Republic of Mari El for 2020]. Izhevsk, OOO "Print" Publ., 2021. 180 p. (In Russian)
6. Zakharov V. M. Ontogenez i populyatsiya (stabil'nost' razvitiya i populyatsionnaya izmenchivost') [Ontogeny and population (developmental stability and population variability)]. *Ekologiya*, 2001, no. 3, pp. 164—168. (In Russian)
7. Kurnaev S. F. *Lesorastitel'noe raionirovanie SSSR* [Forest plantation zoning of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 203 p. (In Russian)
8. Mamaev S. A. *Formy vnutrividovoi izmenchivosti drevesnykh rastenii* [Forms of intraspecific variability of woody plants]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 284 p. (In Russian)
9. *Metodicheskie rekomendatsii po vypolneniyu otsenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivykh sushchestv (otsenka stabil'nosti zhivykh organizmov po urovnyu asimmetrii morfologicheskikh struktur)*. Utv. Rasporyazheniem Rosekologii ot 16.10.2003 № 460-r [Guidelines for assessing the quality of the environment according to the state of living beings (assessment of the stability of living organisms by the level of asymmetry of morphological structures). Approved Order of Rosecology dated October 16, 2003 No. 460-r]. Moscow, 2003. 24 p. (In Russian)
10. *Monitoring atmosfernogo vozdukh na territorii Respubliki Marii El v 2020 godu* [Atmospheric air monitoring on the territory of the Republic of Mari El in 2020]. Yoshkar-Ola, 2020. 5 p. (In Russian)
11. Ovchinnikova E. S., Khramov A. N., Voskresenskaya O. L. Issledovanie morfometricheskikh pokazatelei list'ev topolya sovetskogo piramidalnogo v usloviyakh gorodskoi sredy [Study of the morphometric parameters of the leaves of the Soviet pyramidal poplar in an urban environment]. *Sovremennye problemy estestvennykh nauk i meditsiny: sb. statei Vseros. nauch. konf., Yoshkar-Ola, 18—20 maya 2020 g.* [Modern problems of natural sciences and medicine. Proceed. of the All-Russia sci. conf., Yoshkar-Ola, May 18—20, 2020]. Yoshkar-Ola, Mariiskii gos. un-t Publ., 2020, pp. 94—97. (In Russian)
12. Pirogova D. V., Suntsova L. N., Inshakov E. M. Adaptatsiya drevesnykh rastenii k vozdeistviyu gorodskoi sredy [Adaptation of woody plants to the effects of the urban environment]. *Khvoynye boreal'noi zony*, 2009, no. 2, pp. 221—223. (In Russian)
13. SanPiN 1.2.3685-21 "Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya" [SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans"]. Available at: <https://base.garant.ru/400274954/> Accessed 26.12.2021. (In Russian)

14. Skochilova E. A., Zakamskaya E. S. Izmenenie morfologicheskikh pokazatelei i sodержaniya askorbinovoi kisloty u vidov roda topol' (Populus L.) na territorii g. Yoshkar-Oly [The change in the morphological indexes and the content of ascorbic acid in species of Populus L. on the territory Yoshkar-Ola]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN — Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2015, no. 4-1, pp. 232—235. (In Russian)
15. Solov'eva O. S., Sokolova N. A., Bazhin O. N., Guseinova A. R. Zelenye nasazhdeniya kak sredstvo uluchsheniya ekologii goroda [Green plantings as a means of city ecology improvement]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2010, no. 1, pp. 75—83. (In Russian)
16. Tsarev A. P. *Sortovedenie topolya* [Poplar cultivar science]. Voronezh, VGU Publ., 1986. 152 p. (In Russian)
17. Shavnin S. A., Alesenkov Yu. M., Andreev G. V., Pozdeev E. G., Ivanchikov S. V. Sootnoshenie vysot i diametrov osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod v Visherskom zapovednike [Correlation heights and diameters of main forest forming species in Vishera reserve]. *Agrarnyi vestnik Urala — Agrarian Bulletin of the Urals*, 2009, no. 11, pp. 118—121. (In Russian)
18. Graham J. H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. *Symmetry*, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 466—540.