

УДК 630*18+630*165.61

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПЫЛЕЗАДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРОНЫ ТОПОЛЕЙ

Н.Н. Бессчетнова, д-р с.-х. наук; ResearcherID: [H-1343-2019](https://orcid.org/0000-0002-7140-8797)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

П.В. Бессчетнов, аспирант; ResearcherID: [AAAV-5411-2020](https://orcid.org/0000-0002-0673-0616)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0673-0616>

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: besschetnova1966@mail.ru

Оригинальная статья / Поступила в редакцию 05.03.20 / Принята к печати 20.05.20

Аннотация. Для городов одним из ключевых показателей комфортности и соответствия санитарным нормам выступает запыленность атмосферы. Насаждения из представителей рода тополь (*Populus* L.) становятся надежным средством оптимизации данного показателя. Исследована эффективность применения различных видов тополей в городских посадках с учетом дифференциации участков кроны по способности осаждать пыль на поверхности листового аппарата. Объект исследования – 8 видов из разных секций рода тополь, наиболее часто встречающиеся в городских посадках и других искусственных насаждениях на территории Нижегородской области. Учено влияние на дисперсию пылездерживающей способности трех независимых друг от друга факторов: видоспецифичности тополей (8 градаций); условий освещенности кроны, определяемых ее ориентацией относительно сторон света; высотных характеристик расположения яруса кроны. Смывы пыли производили со 100 листьев каждого вида тополя при их фиксированной площади. Наибольшее количество пыли в листовых смывах отмечено у типичного тополя белого ($257,60 \pm 5,05$ мг), а наименьшее – у тополя черного осокоря ($117,69 \pm 3,65$ мг) и тополя итальянского ($105,69 \pm 2,90$ мг). Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил существенность различий между видами по всем показателям пылездерживающей способности. Трехфакторный дисперсионный анализ доказал влияние мест расположения листовой поверхности в частях кроны на эффективность осаждения пыли представителями разных видов. Наиболее важной в распределении пыли, осевшей на листовой поверхности побегов в разных частях кроны, оказалась видовая принадлежность деревьев – $37,65 \pm 0,51$ %. Эффект от условий освещенности кроны также хорошо ощутим – $20,45 \pm 0,28$ %. Влияние высоты яруса кроны было заметно меньше – $7,19 \pm 0,21$ %. Перечисленные факторы мало связаны между собой, их взаимодействие не играет значительной роли: $6,67 \pm 4,54$ %, $F_{11}^2 = 1,47$, достоверно на 5 %-м уровне ($F_{05} = 1,41$) и недостоверно – на 1 %-м ($F_{01} = 1,61$).

Для цитирования: Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов П.В. Дифференциация пылездерживающей способности кроны тополей // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 5. С. 48–64. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64

Ключевые слова: тополь, пылездерживающая способность, морфология листа, плотность листорасположения, зонирование кроны.

DIFFERENTIATION OF DUST HOLDING CAPACITY OF POPLAR CROWNS

Natalia N. Besschetnova, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [H-1343-2019](https://orcid.org/0000-0002-7140-8797)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

Piter V. Besschetnov, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAAV-5411-2020](https://orcid.org/0000-0002-0673-0616)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0673-0616>

Данная статья опубликована в режиме открытого доступа и распространяется на условиях лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (CC BY 4.0) • Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, prosp. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: besschetnova1966@mail.ru

Original article / Received on March 5, 2020 / Accepted on May 20, 2020

Abstract. One of the key parameters of comfort and compliance with sanitary standards for cities is dustiness of atmosphere. Plantings of representatives of the Poplar genus (*Populus* L.) become a reliable means of optimizing this parameter. We have studied the effectiveness of using different types of poplars in urban plantings, taking into account the differentiation of crown sections by the ability to deposit dust on the surface of the leaf apparatus. The object of research is 8 species from different sections of the poplar genus, typically found in urban plantings of the Nizhny Novgorod region. We considered the influence of three independently of one another factors on the dispersion of dust holding capacity: species-specificity of poplars (8 gradations); lighting conditions of crown due to its orientation relative to the cardinal directions (4 gradations); height characteristics of the crown tier location (3 gradations). Dust was washed off from 100 leaves of each poplar species with their fixed area. The highest amount of dust in the flushes was observed for silver poplar (257.60 ± 5.05 mg), and the lowest – for black poplar (117.69 ± 3.65 mg) and *Populus nigra* var. *italica* (105.69 ± 2.90 mg). One-way ANOVA confirmed the significance of differences between the species for all parameters of dust holding capacity. Three-way ANOVA showed the influence of leaf surface locations in different parts of the crown on the efficiency of dust deposition by representatives of different species. Species appeared to be the most important in the distribution of dust deposited on the leaf surface of shoots in different parts of the crown; the share of its influence was 37.65 ± 0.51 %. The effect of crown lighting conditions was also well measurable; its share was equal to 20.45 ± 0.28 %. The influence of the crown tier height was noticeably less; its share reached 7.19 ± 0.21 %. The listed factors are little related to each other, and their interaction generated a negligible effect: 6.67 ± 4.54 %, $F_h^2 = 1.47$, significance is reliable at 5 % level ($F_{05} = 1.41$) and unreliable at 1 % level ($F_{01} = 1.61$).

For citation: Besschetnova N.N., Besschetnov P.V. Differentiation of Dust Holding Capacity of Poplar Crowns. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 5, pp. 48–64. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64

Keywords: poplar, dust holding capacity, leaf morphology, density of leaf arrangement, crown zoning.

Введение

Проблемы экологии во многих современных российских городах в настоящее время стоят особенно остро, определяя потребность в принятии безотлагательных мер по стабилизации и приведению к нормативным санитарно-гигиеническим показателям [4, 20, 25, 31]. Этому немало причин, которые, имея объективный и субъективный характер, приобрели на сегодняшний день глобальные масштабы [23, 31, 57, 64]. Одним из важнейших параметров городской среды выступает запыленность воздушного бассейна, тем более что урбанизированные территории пока еще не избавлены и в обозримой перспективе не будут избавлены от многочисленных источников пыли [2, 4–6, 20, 23, 36, 38]. Предпринимаются усилия по снижению запыленности воздушного бассейна, опирающиеся на технические, технологические, организационные и логистические решения. Однако их эффективность пока недостаточно высока [26, 27, 30, 31, 33].

На этом фоне надежным средством решения указанных задач выступают насаждения из деревьев и кустарников, способные аккумулировать на своей листовой поверхности значительное количество пылевых частиц. Эффективность применения и рациональность использования таких насаждений как средств снижения запыленности в городах во многом определяется корректным выбором видов для включения их в состав подобных посадок [2, 4–6, 12, 14, 20, 23, 36–38]. Достаточно перспективными в контексте поставленных задач представляются тополя, широко распространенные по всему северному полушарию [39, 41, 43, 46, 48, 52, 66] и повсеместно встречающиеся в Нижегородском Поволжье как аборигенные виды естественных лесов и интродуценты в составе разнообразных по форме и выполняемым функциям искусственных насаждений [1, 3, 10–14, 29, 34]. Вместе с тем сведений о сравнительной оценке эффективности применения тополей для реализации ими санитарно-гигиенических функций, в части обеспечения пылезадерживающей способности, немного, а для Нижегородской области они и вовсе отсутствуют.

Цель исследований – определение эффективности применения различных видов тополей в городских посадках с учетом дифференциации участков кроны по способности осаждать пыль на поверхности листового аппарата.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований выступали репродуктивно зрелые деревья 8 видов из разных секций рода тополь (*Populus L.*), наиболее часто встречающиеся в городских посадках и других искусственных насаждениях на территории Нижегородской области [10–14, 29]: тополь белый пирамидальный (*Populus alba L., f. pyramidalis*); тополь черный, или осокорь (*Populus nigra L.*); тополь китайский (*Populus Simonii Carr.*); тополь белый, типичная форма (*Populus alba L.*); тополь лавролистный (*Populus laurifolia Ledeb.*); тополь черный пирамидальный, или итальянский (*Populus nigra, var. italica Münchh.*); тополь бальзамический (*Populus balsamifera L.*); осина, или тополь дрожащий (*Populus tremula L.*). Они представляли следующие таксономические подразделения рода: секция черные, или дельтовидные тополя (*Aigeiros*), – тополь черный, тополь итальянский; секция настоящие, или белые тополя (*Populus*), – тополь белый пирамидальный, тополь белый типичный, осина; секция бальзамические тополя (*Tacamahaca*) – тополь китайский, тополь бальзамический, тополь лавролистный. Место проведения исследований входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации, который отнесен к третьей лесорастительной зоне – зоне хвойно-широколиственных лесов.

Методологической основой построения рабочих методик выступали главные аспекты всеобщего и общенаучных методов, а также важнейшие требования к организации опыта: типичность, пригодность, целесообразность и надежность, соблюдение принципа единственного логического различия и рандомизированного размещения объектов в экспериментальном поле [19, 32, 49, 58, 61, 67]. Элиминация влияния неорганизованных внешних факторов достигалась одновременным отбором биологических проб у всех деревьев, включенных в схему опыта, привлечением для этого только одновозрастных растений, произрастающих в равных экологических условиях и характеризующихся оди-

наковым фенологическим состоянием. Нормально развитые облиственные побеги отбирались дифференцированно – как типичные для различных участков кроны. Образцы с признаками повреждения биотическими и абиотическими факторами отбраковывались.

Кроме признаков непосредственного учета (прямых признаков) принимали во внимание производные признаки (индексы, коэффициенты, удельные и относительные величины и т. д.), наиболее информативно описывающие линейные и удельные параметры, массу и форму, а также физиологическое и санитарное состояние изучаемых частей и органов деревьев. Эти данные широко используют в биологических и лесоводственных исследованиях для получения значений параметров, недоступных для непосредственного биометрирования, и оценок разнообразных качественных показателей в количественном выражении [7–9, 15–17, 28]. Обозначенное выше относится и к тополям [42, 44, 54, 55, 59, 60, 63, 65], в частности позволяет адекватно описать пропорции и форму листовых пластинок, характер их размещения на стебле [18, 40, 45], определить устьичную плотность и удельную площадь [56]. Внимание к многочисленным характеристикам листового аппарата тополей сохраняется у нас в стране [18, 21, 22, 35, 36] и за рубежом [42, 44, 45, 47, 50, 51, 54–56, 59, 60, 63]. Разработке методического аппарата изучения пылезадерживающей способности древесных и кустарниковых пород посвящено немало исследований отечественных специалистов [2, 4, 20, 23, 36], в том числе в отношении тополей [11, 24].

Построение опыта по определению пылезадерживающей способности и формирующих ее характеристик изучаемых видов тополей предполагало организацию 1- и 3-факторных (при независимых факторах) дисперсионных комплексов. В организационно-методической схеме учтено влияние на итоговый показатель – дисперсию пылезадерживающей способности – трех независимых друг от друга факторов опыта: фактора А – видоспецифичности тополей (всего выделено 8 градаций); В – различий в условиях освещенности кроны, обусловленных ее ориентацией относительно сторон света: север, юг, восток, запад (т. е. 4 градации); фактора С – различий в высотных характеристиках расположения яруса кроны относительно поверхности почвы (верхний, средний, нижний), которые влияют как на условия освещенности, так и на характеристики подвижности воздушных потоков, переносящих пылеватые частицы (3 градации). Остаточная дисперсия анализируемого дисперсионного комплекса (фактор Z) вызывается случайными не учитываемыми в опыте факторами, как правило, микроразностями экологического фона и неизбежной неоднородностью эндогенных условий формирования метамеров. Она рассматривается как различия в значениях того или иного признака, фиксируемые у тестируемых первичных единиц выборки (п. е. в.), для дисперсионного комплекса в целом.

Поскольку каждый из 8 видов тополей был представлен 10 учетными деревьями, с каждого из которых отбиралось по 12 модельных ветвей, итоговое число п. е. в. по каждому признаку составило 960. В дисперсионных комплексах образцы были сгруппированы в 80 подеревных значений следующих признаков: суммарная площадь 100 учетных листьев; масса пыли на 1 м² листовой поверхности; площадь листовой поверхности на 1 побеге; масса пыли на листьях 1 побега; количество облиственных побегов на 1 дереве; количество листьев на 1 дереве; площадь листовой поверхности 1 дерева; масса пыли на

1 дереве; длина облиственного побега; количество листьев на 1 облиственном побеге; плотность облиствения побегов.

Репрезентативность выборки листьев обеспечивалась методикой их отбора. Крона каждого экземпляра была разделена на сегменты относительно сторон света, что учитывало неодинаковые условия освещенности разных ее участков; каждый сегмент – на три яруса: верхний, средний и нижний – для учета различий в условиях освещенности, температуры, газообмена (в нижних ярусах больше углекислоты, худший газообмен). В конечном итоге выделено 12 частей в пределах одного учетного растения. Из каждой части отбиралось по модельной ветви. Со срезанных модельных ветвей собирали все листья, ксерокопиями фиксировали их линейные параметры и профили. Контуры листьев переносили на миллиметровую бумагу и рассчитывали площади листовых пластинок, после чего находили среднюю площадь одной листовой пластинки для модельной ветви каждого вида. На следующем этапе вычисляли площадь листовой поверхности каждой части кроны как сумму площадей всех ветвей в ее пределах и интегральный показатель отдельного учетного дерева как сумму значений по секторам и ярусам. Это было осуществлено путем предварительного подсчета ветвей по секторам и ярусам кроны в безлиственном состоянии. Количество ветвей по каждой части кроны умножалось на площадь листовой поверхности модельной ветви, соответствующей этой части кроны.

Смывы с листьев древесно-кустарниковых пород, взятых для исследования, производили в следующем порядке. С каждого вида тополей было собрано 100 листовых пластинок, по 25 листьев с каждой стороны света. В лаборатории готовили по 3 стакана для каждого анализируемого вида. Посуду промывали в дистиллированной воде, высушивали и взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Емкости заполняли 150 мл дистиллированной воды, в которой поочередно промывали листья пробы по видам, один лист отмывали от пыли в трех водах. После промывки образцов стаканы ставили в вытяжной шкаф для выпаривания жидкости на песчаной бане и по завершении процесса повторно взвешивали. Количество пыли, осевшей на 100 листьях каждого вида, рассчитывали как разницу массы стакана после выпаривания воды и массы чистого стакана. По площади 100 листьев и массе пыли, задержанной их поверхностью, выполняли пересчет массы пыли на 1 м² листовой поверхности кроны каждого вида тополей. Целесообразность привлечения такого методического инструментария вполне обоснована [53]. Нахождение описательных статистик и выполнение дисперсионного анализа проведено с учетом существующих теоретических разработок [19, 49, 62, 68]. Вычисления реализованы в электронных таблицах Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Среднестатистическая масса смыва с поверхности 100 листовых пластинок у представителей различных видов тополей оказалась неодинаковой (рис. 1, а). Наибольшее количество пыли в листовых смывах отмечено у типичного тополя белого, $257,60 \pm 5,05$ мг, а наименьшее – у тополя черного осокоря, $117,69 \pm 3,65$ мг, и тополя итальянского, $105,69 \pm 2,90$ мг. Достаточно большие значения показал тополь бальзамический, $223,90 \pm 3,70$ мг. Обобщенное среднее при этом составило $166,45 \pm 5,92$ мг. Наибольшая оценка превосходила наименьшую

в 2,44 раза, или на 152,21 мг. Притом что именно данный валовый показатель определяет в конечном итоге пылезадерживающую способность листового аппарата, зависящую и от площади листовых пластинок (рис. 1, б). В этом случае характеристики более выровнены, и основная часть исследуемых тополей имеет оценки, близкие к обобщенному среднему (обобщ. ср.), которое составило $2687,81 \pm 75,53 \text{ см}^2$.

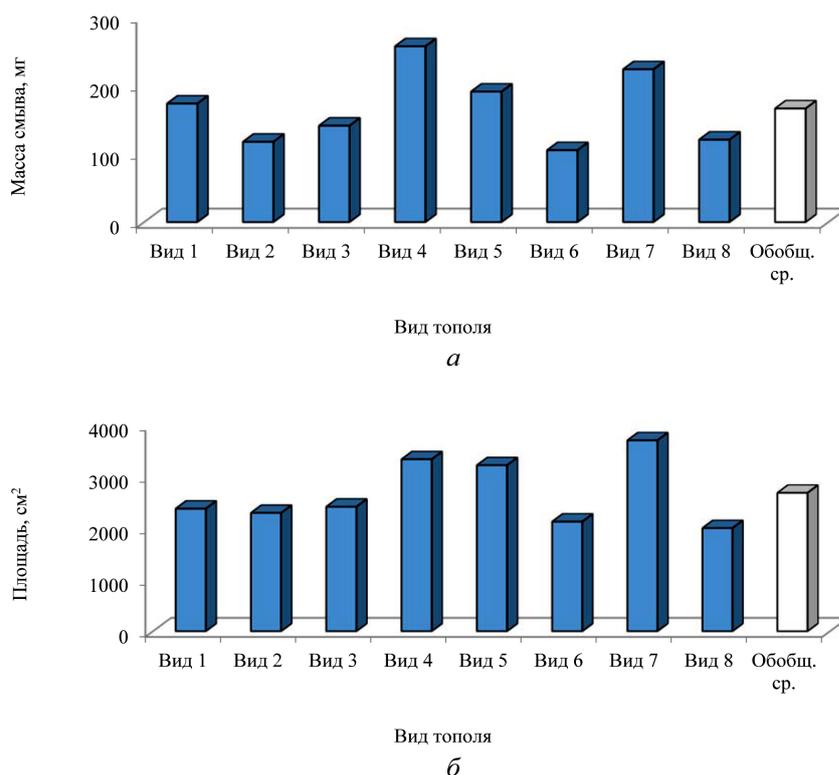


Рис. 1. Потенциал пылезадерживающей способности тополей: *а* – масса смыва с поверхности листовых пластинок; *б* – суммарная площадь поверхности листовых пластинок, с которых смыты частицы пыли

Fig. 1. The dust holding capacity potential of poplars: *a* – the mass of flush from the surface of the leaf blades; *б* – the total surface area of the leaf blades, from which dust particles were flushed

Самое большое среднее значение у тополя бальзамического, $3707,95 \pm 115,17 \text{ см}^2$, а меньшее – у осины, $2687,81 \pm 26,53 \text{ см}^2$. Разница составляет 1,85 раза, или $1704,96 \text{ см}^2$. Получив оценки, названные выше (рис. 1 *а*, *б*), мы смогли определить массу пыли на 1 м^2 площади листовой поверхности (рис. 2).

Удельный показатель пылезадерживающей способности растений также весьма неоднороден в видовом аспекте (рис. 2, *а*). Его наибольшее среднее значение $0,79 \pm 0,04 \text{ г/м}^2$ отмечено у типичного тополя белого, а наименьшее – у представителей секции черных тополей, тополя черного осокоря и тополя итальянского, $0,52 \pm 0,02 \text{ г/м}^2$ и $0,50 \pm 0,01 \text{ г/м}^2$ соответственно. Такие оценки сформировали превосходство в 1,59 раза, или на $0,29 \text{ г/м}^2$. Обобщенное среднее достигло $0,62 \pm 0,01 \text{ г/м}^2$.

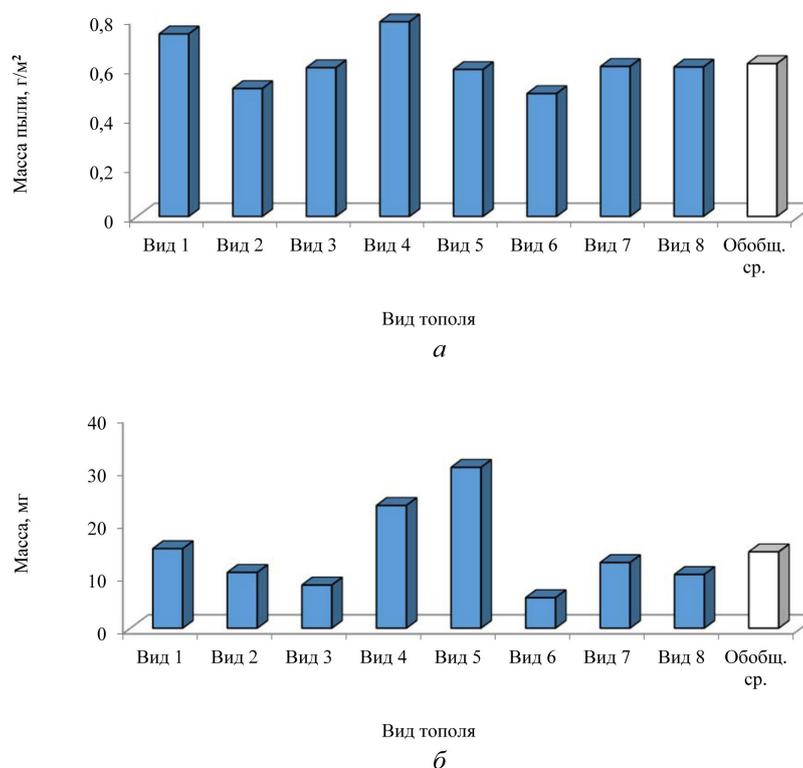


Рис. 2. Количество пыли, осевшей на листовом аппарате тополей: *а* – масса пыли на 1 м² листовых пластинок; *б* – пылезадерживающая способность листовых пластинок на отдельном побеге

Fig. 2. The amount of dust deposited on the poplar leaf apparatus: *a* – the mass of dust per 1 m² of the area of the leaf blades; *b* – the dust-holding capacity of the leaf blades on an individual shoot

В конечном итоге сложились предпосылки для определения пылезадерживающей способности одного усредненного побега (рис. 2, *б*). Оказалось, что этот показатель в наибольшей степени проявился у тополя лавролистного $30,51 \pm 1,41$ мг. При этом наименьшее среднее значение, $5,81 \pm 0,17$ мг, отмеченное у тополя итальянского, уступало первому в 5,25 раза, или на 24,70 мг. Обобщенное среднее в группе исследованных видов достигло $14,54 \pm 0,91$ мг.

Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил существенность различий между сравниваемыми видами тополей по характеристикам потенциальной пылезадерживающей способности (табл. 1). На это указывают опытные критерии Фишера, которые по всем анализируемым признакам физиологического состояния растений значительно превосходят соответствующие критические значения как на 5 %-м, так и на 1 %-м уровнях значимости. Например, по массе смыва со 100 листовых пластинок зафиксировано наибольшее значение: $F_{оп} = 204,03$ при $F_{05} = 2,14$ и $F_{01} = 2,87$; по площади 100 листовых пластинок, с поверхности которых был осуществлен смыв пылевых частиц, $F_{оп} = 39,02$ при тех же критических значениях.

Таблица 1

**Существенность различий между представителями рода тополь
по потенциальной пылезадерживающей способности**

Признак	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору		HCP_{05}	D_{05}
		h^2	$\pm s^{h^2}$	h^2	$\pm s^{h^2}$		
1	204,03	0,9520	0,0047	0,9531	0,0046	10,761	16,525
2	39,02	0,7914	0,0203	0,7917	0,0202	286,185	439,476
3	12,89	0,5562	0,0431	0,5432	0,0444	0,078	0,119
4	68,09	0,8688	0,0128	0,8703	0,0126	42,991	66,018
5	122,81	0,9227	0,0075	0,9241	0,0074	2,106	3,234
6	49,81	0,8288	0,0166	0,8300	0,0165	225,124	345,708
7	28,78	0,7367	0,0256	0,7353	0,0257	2147,820	3298,270
8	12,06	0,5689	0,0472	0,5514	0,0491	7,700	11,825
9	20,22	0,6628	0,0328	0,6577	0,0333	3,879	5,957

Примечание: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s^{h^2}$ – ошибка доли влияния организованного фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность на 5 %-м уровне значимости; D_{05} – критерий Тьюки на 5 %-м уровне значимости; признак 1 – масса смыва со 100 листовых пластинок; 2 – площадь поверхности 100 листовых пластинок; 3 – масса пыли на 1 м² листовой поверхности; 4 – площадь листовой поверхности 1 побега; 5 – пылезадерживающая способность 1 побега; 6 – количество облиственных побегов на 1 дереве; 7 – количество листьев на 1 дереве; 8 – площадь листовой поверхности 1 дерева; 9 – масса пыли на 1 дереве.

По остальным показателям, рассмотренным в исследовании, расчетные F-критерии также уверенно превышали свои пороговые значения как на 5 %-м, так и на 1 %-м уровнях значимости. Убедительные подтверждения наличия у объектов исследуемого комплекса существенных различий, полученные на данном этапе работы, позволили продолжить дисперсионный анализ и вычислить оценки доли влияния организованных факторов или межвидовых различий тополей.

При использовании в расчетах алгоритма Плохинского наиболее высокая доля влияния видоспецифичности на формирование фенотипических различий между представителями сравниваемых видов была установлена по массе смыва со 100 листовых пластинок, $h^2 \pm s^{h^2} = 95,20 \pm 0,47$ %. Сопоставимо высокими оказались аналогичные оценки по пылезадерживающей способности листового аппарата 1 побега, $h^2 \pm s^{h^2} = 92,27 \pm 0,75$ %. Наименьшими из числа рассматриваемых стали оценки массы пыли на 1 м² листовой поверхности, $h^2 \pm s^{h^2} = 55,62 \pm 4,31$ %. В случае привлечения к вычислению величин эффекта влияния межвидовых различий расчетного алгоритма Снедекора в целом был получен аналогичный результат. При этом оценки оказывались даже несколько выше, чем по первому алгоритму: по массе смыва с поверхности 100 листовых пластинок был достигнут наибольший результат, $h^2 \pm s^{h^2} = 95,31 \pm 0,46$ %. По массе пыли на 1 м² листовой поверхности результат, как и в первом варианте расчетов, оказался наименьшим, $h^2 \pm s^{h^2} = 54,32 \pm 4,44$ %. В целом эти данные подтверждают высокий уровень наследственной обусловленности видоспецифичности тополей в плане проявления ими потенциала пылезадерживающей способности.

Вычисление значений критериев существенности различий – наименьшей существенной разности (НСР) и D-критерия Тьюки (табл. 2) – позволило установить потенциальную пылезадерживающую способность, расхождения в значениях которой могут быть отнесены к категории существенных, для различных видов тополей (рис. 1, 2). Практически по всем указанным признакам в попарном сопоставлении значений различия на 5 %-м уровне значимости превышали величины как НСР, так и D-критерия Тьюки.

Трехфакторный дисперсионный анализ выявил характер влияния мест расположения листовой поверхности в различных частях кроны на эффективность осаждения пыли. Результаты для массы пыли, осевшей на листовой поверхности побегов в разных частях кроны учетного дерева, и площади пылеосаждающей поверхности листового аппарата в приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние местоположения участка кроны тополей на осаждение пыли

Источник дисперсии (фактор)	Критерий Фишера		Доля влияния фактора					
			по Плохинскому			по Снедекору		
	$F_{\text{оп}}$	$F_{05/01}$	h^2	$\pm s^{h^2}$	F^{h^2}	h^2	$\pm s^{h^2}$	F^{h^2}
<i>Масса пыли, осевшей на листовой поверхности побегов учетного дерева</i>								
A	165,74	2,02/2,07	0,3765	0,0051	74,54	0,4558	0,0044	103,39
B	210,01	2,61/3,80	0,2045	0,0028	74,03	0,2892	0,0025	117,16
C	110,76	3,00/4,62	0,0719	0,0021	33,46	0,1012	0,0021	48,66
A×B×C	4,89	1,41/1,61	0,0667	0,0454	1,47	0,0431	0,0465	0,9263
AB	5,12	1,58/1,89	0,0349	0,0235	1,49	0,0152	0,0239	0,6356
AC	1,54	1,70/2,09	0,0070	0,0161	0,44	0,0020	0,0486	0,0412
BC	2,84	2,10/2,82	0,0055	0,0069	0,80	0,0204	0,8893	0,0229
AB×AC×BC	1,41	1,41/1,61	0,0192	0,0477	0,40	0,0004	0,0486	0,0078
Z	2,84	–	0,2804	0,7196	0,39	0,1107	0,8893	0,1245
<i>Площадь пылеосаждающей поверхности листового аппарата учетного дерева</i>								
A	129,87	2,02/2,07	0,3492	0,0053	66,23	0,4401	0,0045	97,02
B	171,32	2,61/3,80	0,1974	0,0028	70,84	0,2908	0,0025	118,10
C	90,95	3,00/4,62	0,0699	0,0022	32,45	0,1024	0,0021	49,28
A×B×C	3,20	1,41/1,61	0,0517	0,0461	1,12	0,0301	0,0471	0,6381
AB	4,39	1,58/1,89	0,0354	0,0234	1,51	0,0154	0,0239	0,6441
AC	0,84	1,70/2,09	0,0045	0,0161	0,28	–	–	–
BC	1,98	2,10/2,82	0,0046	0,0069	0,66	–	–	–
AB×AC×BC	0,45	1,41/1,61	0,0072	0,0483	0,15	–	–	–
Z	1,98	–	0,3319	0,6681	0,50	0,1366	0,8634	0,1582

Примечание: A×B×C – суммарный эффект влияния факторов A, B, C; AB, AC, BC – эффект взаимодействия соответствующих факторов; AB×AC×BC – влияние совместного парного взаимодействия факторов; $F_{05/01}$ – табличное значение критерия Фишера на 5 %-м и 1 %-м уровнях значимости; F^{h^2} – критерий Фишера доли влияния фактора как отношение h^2 к s^{h^2} .

По массе пыли, осевшей на листовой поверхности побегов, влияние каждого отдельного организованного фактора оказалось высокосущественным, на что указывает величина соответствующих им опытных критериев Фишера,

во много раз превышающая установленные для них табличные значения как на 5 %-м, так и на 1 %-м уровнях значимости (табл. 2). Достоверным было совместное влияние всех трех организованных факторов ($A \times B \times C$). Опытный критерий Фишера ($F_{оп} = 4,89$) здесь превысил табличное значение на 5 %-м ($F_{05} = 1,41$) и 1 %-м ($F_{01} = 1,61$) уровнях значимости.

Эффект совместного влияния факторов А и В также оказался достоверным – вызываемые его действием различия являлись существенными: ($F_{оп} = 5,12$) – и превысил табличное значение на 5 %-м ($F_{05} = 1,58$) и 1 %-м ($F_{01} = 1,89$) уровнях значимости. Факторы В и С при их взаимодействии дали эффект: различия, вызванные ими, оказались существенными, что подтвердил расчетный критерий Фишера, составивший в этом случае 2,84 и превысивший табличное значение на 5 %-м ($F_{05} = 2,10$) и 1 %-м ($F_{01} = 2,82$) уровнях значимости. Остальные организованные факторы видимого влияния не оказали. Их критерии Фишера были меньше соответствующих табличных значений.

Наибольшее влияние на проявление фенотипической дифференциации между разными видами тополей по массе пыли, осевшей на листовой поверхности побегов в разных частях крон учетных деревьев, оказала их видовая принадлежность. В этом случае в расчетах по алгоритму Плохинского доля фактора составила $37,65 \pm 0,51$ % при достоверной оценке ($F^{h2} = 74,54$). Вычисления по алгоритму Снедекора дали несколько больший и также достоверный результат: $45,58 \pm 0,44$ % при оценке $F^{h2} = 103,39$.

Воздействие условий освещенности участка кроны, связанных с ориентацией относительно сторон света, хорошо ощутимо. В расчетах по алгоритму Плохинского доля этого фактора составила $20,45 \pm 0,28$ % при достоверной оценке ($F^{h2} = 74,03$). Вычисления по алгоритму Снедекора, как и в предыдущем случае, дали ненамного больший и также достоверный результат: $45,58 \pm 0,44$ % при оценке $F^{h2} = 117,16$. Влияние высоты, занимаемой ярусом кроны, было заметно меньше и статистически достоверно: в расчетах по алгоритму Плохинского доля влияния составила $7,19 \pm 0,21$ % при достоверной оценке ($F^{h2} = 33,46$). В вычислениях по алгоритму Снедекора, как и в предыдущих случаях, получен незначительно больший и также достоверный результат: $10,12 \pm 0,21$ % при оценке $F^{h2} = 48,66$.

Перечисленные факторы мало связаны между собой, их совместное влияние при взаимодействии сгенерировало неощутимый эффект. Использование алгоритма Плохинского позволило оценить долю влияния как $6,67 \pm 4,54$ %, оценка $F^{h2} = 1,47$ достоверна на 5 %-м уровне значимости ($F_{05} = 1,41$) и недостоверна на 1 %-м ($F_{01} = 1,61$). В вычислениях по алгоритму Снедекора получен еще меньший и недостоверный результат: $4,31 \pm 4,65$ % при оценке $F^{h2} = 0,92$. Действие остальных организованных факторов во взаимодействии малоэффективно и чаще недостоверно (табл. 2). Остаточная дисперсия, влияние которой связывают преимущественно с пестротой экологического фона, обеспечивало 28,04 % (по Плохинскому) и 11,07 % (по Снедекору).

Пылеосаждающая способность во многом зависит от характеристик листового аппарата, в частности от структуры его поверхности, которая в разных частях кроны достаточно видоспецифична (табл. 2). При этом общие тенденции, установленные для пылезадерживающей способности, в основных чертах

сохранились. Влияние организованных факторов, отдельное и во взаимодействии, вызывало возникновение существенных различий между рассматриваемыми тополями. Наибольшая доля также приходится на видоспецифичность тополей ($34,92 \pm 0,53$ %); несколько меньший эффект связан с разницей в ориентации кроны по сторонам света ($19,74 \pm 0,28$ %) и еще меньший – с разницей в уровне расположения по ярусам ($9,99 \pm 0,22$ %). Эффект парного взаимодействия организованных факторов преимущественно несущественен и недостоверен. Остаточная дисперсия достигла 33,19 %.

В заключение можно отметить, что широко распространенные на территории Нижегородской области тополя, представляющие секции белых, черных и бальзамических, в значительной мере дифференцированы по способности задерживать пыль своим листовым аппаратом, что обусловлено особенностями строения кроны, спецификой морфологии листа и индивидуальным характером облиствения побегов. Указанные фенотипические различия проявились на межвидовом и внутривидовом уровнях. Построение опыта по методической схеме, минимизирующей влияние пестроты экологического фона на результаты учета тестируемых признаков, позволило признать указанные различия наследственно обусловленными и связанными с видоспецифичностью изучаемых растений. Дисперсионный анализ подтвердил данное заключение.

Можно утверждать, что специфика видов тополей, принадлежащих секциям белых, черных и бальзамических, по способности задерживать кронами пыль требует дифференцированного подхода к составлению ассортимента видов, вводимых в состав городских насаждений на территориях, характеризующихся различной степенью и структурой запыленности воздушной среды. В этом контексте сведения о потенциале пылезадерживающей способности листового аппарата тополей, полученные нами, во многом согласуются с ранее накопленными сведениями [10–14] и со взглядами других отечественных специалистов [24].

Выводы

1. Пылезадерживающая способность листового аппарата представителей разных видов и секций тополей характеризуется изменчивостью на межвидовом и внутривидовом уровнях. Важнейшие характеристики листового аппарата и кроны тополей, которые в конечном итоге определяют их пылезадерживающую способность, детерминированы генотипически.

2. Влияние межвидовых различий на фенотипические проявления признаков, детерминирующих пылезадерживающую способность тополей, весьма значительно и наибольшего уровня достигает по массе смыва со 100 листовых пластинок и по пылезадерживающей способности листового аппарата одного побега. Наследственная обусловленность специфики исследованных видов тополей по их способности удерживать пылевые частицы поверхностью своих листьев служит основанием для дифференцированного подхода к формированию ассортимента пылезадерживающих насаждений.

3. Максимальную пылезадерживающую способность отдельного дерева, выраженную как в абсолютных, так и в относительных величинах, продемонстрировали: тополь бальзамический, тополь белый пирамидальный и типичная форма тополя белого – они рассматриваются как наиболее предпочтительные

компоненты в составе объектов городского озеленения и могут быть рекомендованы для введения в ассортимент зеленых насаждений Нижегородского Поволжья и массового производства посадочного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аверкиев Д.С. История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Уч. зап. ГГУ. Горький: ГГУ, 1954. Вып. XXV. С. 119–136. Averkiyev D.S. History of Vegetation Cover Development in the Gorky Region and Its Botanical and Geographical Division. *Uchenyye zapiski GGU*, 1954, iss. XXV, pp. 119–136.

2. Агеева Е.А., Казанцева М.Н. Оценка пылеудерживающей способности листьев деревьев и кустарников в насаждениях г. Тюмени // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. Вып. 31. С. 88–91. Ageyeva E.A., Kazantseva M.N. Assessment of Dust Holding Capacity of Leaves of Trees and Shrubs in Plantations of Tyumen. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*, 2012, iss. 31, pp. 88–91.

3. Алехин В.В. Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000). Л.; Горький: ГГУ, 1 картогр. фабрика ВКТ (тип. 1 картогр. фабрики ВКТ), 1935. 67 с. Alekhin V.V. *Explanatory Note to the Geobotanical Maps (Modern and Restored) of the Former Nizhny Novgorod Province (Scale 1:500,000)*. Leningrad, Gorky, Gor'kovskiy gosudarstvennyy universitet Publ., 1935. 67 p.

4. Аткина Л.И., Игнатова М.В. Особенности пылеудерживающей способности листьев *Malus baccata* L., *Sorbus aucuparia* L., *Acer negundo* L., *Crataegus sanguinea* L. в городских посадках Екатеринбург // Леса России и хозяйство в них. 2014. № 4(51). С. 79–82. Atkina L.I., Ignatova M.V. Particularities Hold Dust Abilities of Sheets to *Malus baccata* L., *Sorbus aucuparia* L., *Acer negundo* L., *Crataegus sanguinea* L. in Town Boarding of Ekaterinburg. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the Economy in Them], 2014, no. 4(51), pp. 79–82.

5. Байжанова М.К. Пылезадерживающая способность листьев некоторых древесных пород // Роль растений в оздоровлении воздушного бассейна городов Казахстана: сб. ст. / Главный ботанический сад АН КазССР. Алма-Ата: Наука. Казахстан. отд-ние, 1982. С. 36–42. Bayzhanova M.K. Dust Holding Capacity of Leaves of Some Tree Species. *The Role of Plants in Improving the Air Basin of Cities in Kazakhstan: Collection of Academic Papers*. Alma-Ata, Nauka Publ., 1982, pp. 36–42.

6. Бессонова В.П. Эффективность осаждения пылевых частиц листьями древесных и кустарниковых растений // Вопросы защиты природной среды и охрана труда в промышленности. Днепропетровск: ДГУ, 1993. С. 34–37. Bessonova V.P. Efficiency of Deposition of Dust Particles by Leaves of Woody and Shrubby Plants. *Issues of Environmental Protection and Labor Protection in Industry*. Dnepropetrovsk, DGU Publ., 1993, pp. 34–37.

7. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // Изв. вузов. Лесн. журн. 2012. № 2. С. 58–64. Beschetsnov V.P., Beschetsnova N.N. Scots Pine Elite Trees Selective Estimation by Means of Multivariate Analysis Method. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2012, no. 2, pp. 58–64. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b2c/qffe9.pdf>

8. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 2. С. 45–52. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Formation and Lignification of Xylem of Scotch Pine Elite Trees. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2013, no. 2, pp. 45–52. <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/eb1/lh4.pdf>

9. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix Mill.*) в условиях Нижегородской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 1. С. 9–17. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Esichev A.O. Physiological State Evaluation of Representatives of the Genus Larch (*Larix Mill.*) in the Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2018, no. 1, pp. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.1.9>

10. Бессчетнов П.В. Морфометрические характеристики листьев тополей в условиях городских посадок Нижнего Новгорода // Вестн. НГСХА. 2018. № 4(20). С. 17–27. Besschetnov P.V. The Morphological Characteristics of the Leaves of the Poplars in Terms of Urban Plantings of Nizhny Novgorod. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2018, no. 4(20), pp. 17–27.

11. Бессчетнов П.В., Бессчетнова Н.Н. Сравнительная оценка пылезадерживающей способности тополя бальзамического (*Populus balsamifera L.*) // Актуальные проблемы устойчивого развития лесного комплекса: междунар. науч.-практ. конф., посвященная 70-летию высшего лесного образования в Казахстане. Алматы: КазНАУ, 2018. С. 68–73. Besschetnov P.V., Besschetnova N.N. Comparative Assessment of Dust Holding Capacity of Balsam Poplar (*Populus balsamifera L.*). *Actual Problems of Sustainable Development of the Forest Complex. International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 70th Anniversary of Higher Forest Education in Kazakhstan*. Almaty, KazNARU, 2018, pp. 68–73.

12. Бессчетнов П.В., Бессчетнова Н.Н. Корреляция параметров листового аппарата тополей в условиях городских посадок // Вестн. КазанГАУ. 2018. № 1(48). С. 5–10. Besschetnov P.V., Besschetnova N.N. Correlation of Parameters of Poplar Leaf Apparatus in Conditions of Urban Landing. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of the Kazan State Agrarian University], 2018, no. 1(48), pp. 5–10. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5afafe02978e82.68901305

13. Бессчетнов П.В., Бессчетнова Н.Н. Тополь белый (*Populus alba L.*) в объектах озеленения Нижегородской области: корреляция и регрессия параметров листового аппарата // Вестн. НГСХ. 2019. № 2(22). С. 25–31. Besschetnov P.V., Besschetnova N.N. White Poplar (*Populus alba L.*) in Green Space of the Nizhny Novgorod Region: Correlation and Regression Parameters of Foliage. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2019, no. 2(22), pp. 25–31.

14. Бессчетнов П.В., Бессчетнова Н.Н., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Состояние и перспективы использования представителей рода тополь (*Populus L.*) в городских посадках в России, Беларуси и Казахстане // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии / под общ. ред. Н.Н. Бессчетновой. Н. Новгород: НГСХА, 2019. С. 93–100. Besschetnov P.V., Besschetnova N.N., Kentbayev E.Zh., Kentbayeva B.A. State and Prospects of Using Representatives of the Genus Poplar (*Populus L.*) in Urban Plantations in Russia, Belarus and Kazakhstan. *Economic Aspects of Agricultural and Forestry Development. Forestry of the Union State of Russia and Belarus*. Ed. by N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod, NNSAA Publ., 2019, pp. 93–100.

15. Бессчетнова Н.Н. Содержание жиров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2012. № 4. С. 48–55. Besschetnova N.N. Fat Content in the Cells of Scotch Pine Elite Trees. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2012, no. 4, pp. 48–55. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/a5f/bpbg6.pdf>

16. Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В. Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода ель (*Picea L.*) в условиях Нижегородской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 6. С. 52–61. Besschetnova N.N.,

Kulikova A.V. The Content of Reserve Nutrients in the Cells of Annual Shoot Tissues of the Representatives of the Spruce (*Picea* L.) Genus in Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.52>

17. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea* A. Dietr.) в условиях интродукции // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 4. С. 57–68. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kul'kova A.V., Mishukova I.V. Starch Content in Shoot Tissues of Different Spruce Species (*Picea* A. Dietr.) in Introduction. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 4, pp. 57–68. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.4.57>

18. Гендельс Т.В., Буданцев Л.Ю. Изучение изменчивости формы листовой пластинки *Populus deltoides* (*Salicaceae*) с помощью числового индекса // Ботан. журн. 1991. Т. 76, № 5. С. 747–752. Gendel's T.V., Budantsev L.Yu. Study on Variation of the Leaf Blade Shape in *Populus deltoides* (*Salicaceae*) Using a Numerical Index. *Botanicheskii Zhurnal*, 1991, vol. 76, no. 5, pp. 747–752.

19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 351 с. Dospekhov B.A. *Field Test Methodology (With the Basics of Statistical Processing of Research Results)*. Moscow, Al'yans Publ., 2011. 351 p.

20. Жумадилова А.Ж. Пылеудерживающая способность древесных и кустарниковых растений // Новости науки Казахстана. 2014. № 2(120). С. 38–48. Zhumadilova A.Zh. Capacity to Hold Dust of Woody and Shrubby Plants. *Novosti nauki Kazakhstan* [News of Kazakhstan Science], 2014, no. 2(120), pp. 38–48.

21. Исаков В.Н., Висковатова Л.И., Лейшовник Я.Я. Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации. Рига: Зинатне, 1984. 196 с. Isakov V.N., Viskovatova L.I., Leishovnik Ya.Ya. *Study of Leaf Morphology of Woody Plants by Automation Facilities*. Riga, Zinatne Publ., 1984. 196 p.

22. Кавеленова Л.М., Малыхина Е.В., Розно С.А., Смирнов Ю.В. К методологии экофизиологических исследований листьев древесных растений // Поволж. экол. журн. 2008. № 3. С. 200–210. Kavelenova L.M., Malykhina E.V., Rozno S.A., Smirnov Yu.V. On the Methodology of Tree Leaf Ecophysiological Studiesresearch of Leaves of Woody Plants. *Povolzhskij ekologičeskij žurnal* [Povolzhskiy Journal of Ecology], 2008, no. 3, pp. 200–210.

23. Кондратюк Е.Н., Тарабрин В.П., Бакланов В.И., Бурда Р.И., Хархота А.И. Промышленная ботаника / под общ. ред. Е.Н. Кондратюка. Киев: Наукова думка, 1980. 260 с. Kondratyuk E.N., Tarabrin V.P., Baklanov V.I., Burda R.I., Kharkhota A.I. *Industrial Botany*. Ed. by E.N. Kondratyuk. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1980. 260 p.

24. Корлыханов М.С., Корлыханова Т.В. Пылезадерживающая способность листовой поверхности тополя свердловского серебристого пирамидального в условиях г. Екатеринбург // Аграр. вестн. Урала. 2008. № 10(52). С. 93–94. Korlikhanov M.S., Korlikhanova T.V. The Possibility of Erasing Properties of Leaves Poplar Sverdlovsk Silvery Pyramidal in the Conditions of Yekaterinburg City. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 10(52), pp. 93–94.

25. Коршиков И.И., Котов В.С., Михеенко И.П. Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой. Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация: моногр. Киев: Наукова думка, 1995. 191 с. Korshikov I.I., Kotov V.S., Mikheyenko I.P. *Interaction of Plants with Anthropogenically Polluted Environment. Stability. Phytoindication. Optimization*: Monograph. Kiev, Naukova dumka Publ., 1995. 191 p.

26. Кулагин А.А., Шагиева Ю.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с. Kulagin A.A., Shagiyeva Yu.A. *Woody Plants and Biological Conservation of Industrial Pollutants*. Moscow, Nauka Publ., 2005. 190 p.

27. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 126 с. Kulagin Yu.Z. *Woody Plants and the Industrial Environment*. Moscow, Nauka Publ., 1974. 126 p.
28. Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 6. С. 23–38. Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multivariable Analysis in the Assessment of Spruce Species Specificity (*Picea*). *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 23–38. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.23>
29. Куприянов Н.В., Веретенников С.С., Шишов В.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области. Н. Новгород: Волго-Вятское книж. изд-во, 1995. 349 с. Kupriyanov N.V., Veretennikov S.S., Shishov V.V. *Forests and Forestry of the Nizhny Novgorod Region*. Nizhny Novgorod, Volgo-Vyatskoye knizhnoye izdatel'stvo, 1995. 349 p.
30. Курбатова А.С., Башкин В.Н., Касимов Н.С. Экология города. М.: Науч. мир, 2004. 624 с. Kurbatova A.S., Bashkin V.N., Kasimov N.S. *Urban Ecology*. Moscow, Nauchnyu mir Publ., 2004. 624 p.
31. Ляховенко О.И., Чулков Д.И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения // Русская политология – Russian political science. 2017. № 3(4). С. 21–26. Lyakhovenko O.I., Chulkov D.I. Main Environmental Problems of Russian Cities and Their Resolution Strategy. *Russkaya politologiya* [Russian Political Science], 2017, no. 3(4), pp. 21–26.
32. Мальцев П.М., Емельянова Н.А. Основы научных исследований. Киев: Вища шк., 1982. 192 с. Mal'tsev P.M., Emel'yanova N.A. *Fundamentals of Scientific Research*. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1982. 192 p.
33. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: экол. и биотехнол. аспекты. Новосибирск: Наука, 2003. 221 с. Neverova O.A., Kolmogorova E.Yu. *Woody Plants and Urbanized Environment: Ecological and Biotechnological Aspects*. Novosibirsk, Nauka Publ., 2003. 221 p.
34. Полуяхтов К.К. Лесорастительное районирование Горьковской области // Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья. Горький: ГГУ, 1974. С. 4–20. Poluyakhtov K.K. Forest Site Zoning of the Gorky Region. *Biological Bases of Increasing Productivity and Protection of Forest, Meadow and Water Phytocenoses of the Gorky Volga Region*. Gorky, GGU Publ., 1974, pp. 4–20.
35. Приходько С.А., Штирц Ю.А. Оценка изменчивости формы листовой пластинки *Populus nigra* L. S.L. в условиях промышленных отвалов методами геометрической морфометрии // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. Т. 28, № 2. С. 219–229. Prikhodko S.A., Shtirts Yu.A. Evaluation of Variability of Leaf Blade Shape of *Populus nigra* L. s.l. on Industrial Dumps by Methods of Geometric Morphometry. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 219–229. DOI: <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2019-10222>
36. Сафронова У.А., Аткина Л.И. Накопление пыли на листьях черемухи Маака в городских условиях // Экологические проблемы Севера / отв. ред. П.А. Феклистов. Архангельск: АГТУ, 2010. Вып. 13. С. 24–26. Safronova U.A., Atkina L.I. Accumulation of Dust on Leaves of Manchurian Cherry in Urban Conditions. *Environmental Problems of the North*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2010, iss. 13, pp. 24–26.
37. Стельмахович М.Л., Котелова Н.В. Тополя, их применение в лесном хозяйстве и озеленении. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 108 с. Stel'makhovich M.L., Kotelova N.V. *Poplars, Their Use in Forestry and Landscaping*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1964. 108 p.

38. Чернышенко О.В. Пылефильтрующая способность древесных растений // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2012. № 3. С. 7–10. Chernyshenko O.V. Dust Filtering Ability of Woody Plants. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 3, pp. 7–10.
39. Adams J.P., Pelkki M.H., Ford V.L., Humphrey A. Initial Effects of Quinclorac on the Survival and Growth of High Biomass Tree Species. *Annals of Forest Research*, 2017, vol. 60, iss. 1, pp. 75–87. DOI: <https://doi.org/10.15287/afr.2016.734>
40. Afas N.A., Marron N., Ceulemans R. Variability in *Populus* Leaf Anatomy and Morphology in Relation to Canopy Position, Biomass Production, and Varietal Taxon. *Annals of Forest Science*, 2007, vol. 64, no. 4, pp. 521–532. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2007029>
41. Alimohamadi A., Asadi F., Aghdaei R.T. Genetic Diversity in *Populus nigra* Plantations from West of Iran. *Annals of Forest Research*, 2012, vol. 55, iss. 2, pp. 165–178.
42. Barigah T.S., Saugier B., Mousseau M., Guittet J., Ceulemans R. Photosynthesis, Leaf Area and Productivity of 5 Poplar Clones during Their Establishment Year. *Annals of Forest Science*, 1994, vol. 51, no. 6, pp. 613–625. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:19940607>
43. Broeck A.V., Cottrell J., Quataert P., Breyne P., Storme V., Boerjan W., Slycken J.V. Paternity Analysis of *Populus nigra* L. Offspring in a Belgian Plantation of Native and Exotic Poplars. *Annals of Forest Science*, 2006, vol. 63, no. 7, pp. 783–790. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2006060>
44. Bunn S.M., Rae A.M., Herbert C.S., Taylor G. Leaf-Level Productivity Traits in *Populus* Grown in Short Rotation Coppice for Biomass Energy. *Forestry*, 2004, vol. 77, iss. 4, pp. 307–323. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/77.4.307>
45. Casella E., Sinoquet H. Botanical Determinants of Foliage Clumping and Light Interception in Two-Year-Old Coppice Poplar Canopies: Assessment from 3-D Plant Mock-ups. *Annals of Forest Science*, 2007, vol. 64, no. 4, pp. 395–404. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2007016>
46. Ceulemans R., Hinckley T.M., Heilman P.E., Isebrands J.G., Stettler R.F. Crown Architecture in Relation to Productivity of *Populus* Clones in the Pacific Northwest, U.S.A. *Annals of Forest Science*, 1989, vol. 46, no. suppl., pp. 199–201. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:19890546>
47. Coll L., Messier C., Delagrangé S., Berninger F. Growth, Allocation and Leaf Gas Exchanges of Hybrid Poplar Plants in Their Establishment Phase on Previously Forested Sites: Effect of Different Vegetation Management Techniques. *Annals of Forest Science*, 2007, vol. 64, no. 3, pp. 275–285. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2007005>
48. Cooke J.E.K., Rood S.B. Trees of the People: The Growing Science of Poplars in Canada and Worldwide. *Canadian Journal of Botany*, 2007, vol. 85, no. 12, pp. 1103–1110. DOI: <https://doi.org/10.1139/B07-125>
49. Dean A., Voss D., Draguljić D. *Design and Analysis of Experiments*. Springer International Publishing, 2017. 865 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52250-0>
50. Dillen S.Y., Rood S.B., Ceulemans R. Growth and Physiology. *Genetics and Genomics of Populus*. Ed. by S. Jansson, R. Bhalerao, A. Groover. New York, Springer, 2010, pp. 39–63. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1541-2_3
51. Eckenwalder J.E. Foliar Heteromorphism in *Populus* (*Salicaceae*), a Source of Confusion in the Taxonomy of Tertiary Leaf Remains. *Systematic Botany*, 1980, vol. 5, no. 4, pp. 366–383. DOI: <https://doi.org/10.2307/2418518>
52. Eckenwalder J.E. Systematics and Evolution of *Populus*. *Biology of Populus and Its Implications for Management and Conservation*. Ed. by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, P.E. Heilman, T.M. Hinckley. Ottawa, NRC Research Press, 1996, pp. 7–32.

53. Falkenhagen E. A Comparison of the AMMI Method with Some Classical Statistical Methods in Provenance Research: The Case of the South African *Pinus radiata* Trials. *International Journal of Forest Genetics*, 1996, vol. 3, iss. 2, pp. 81–87.
54. Gaudillère J.P. Photosynthetic Response of Poplar Leaves under Varying Quantum Flux Density. *Annals of Forest Science*, 1989, vol. 46, no. suppl., pp. 479s–482s. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:198905ART0107>
55. Gaudillère J.P. Leaf Number, Water Stress and Carbon Nutrition Effects on Poplar Leaf Growth. *Annals of Forest Science*, 1989, vol. 46, no. suppl., pp. 493s–496s. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:198905ART0110>
56. Gornall J.L., Guy R.D. Geographic Variation in Ecophysiological Traits of Black Cottonwood (*Populus trichocarpa*). *Canadian Journal of Botany*, 2007, vol. 85, no. 12, pp. 1202–1213. DOI: <https://doi.org/10.1139/B07-079>
57. Hager H., Haslinger R., Schume H. Productivity and LAI of Floodplain Forest Sites in Relationships to Water Supply. *Ecology (Bratislava). Journal for Ecological Problem of the Biosphere*, 1999, vol. 18, suppl. 1/1999, pp. 5–14.
58. Hinkelmann K., Kempthorne O. *Design and Analysis of Experiments, Volume 1: Introduction to Experimental Design*. Hoboken, NJ, Wiley, 2008. 631 p.
59. Leech R.H., Kim Y.T. Foliar Analysis and DRIS as a Guide to Fertilizer Amendments in Poplar Plantations. *The Forestry Chronicle*, 1981, vol. 57, no. 1, pp. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc57017-1>
60. Marron N., Brignolas F., Delmotte F.M., Dreyer E. Modulation of Leaf Physiology by Age and in Response to Abiotic Constraints in Young Cuttings of Two *Populus deltoides* × *P. nigra* Genotypes. *Annals of Forest Science*, 2008, vol. 65, iss. 4, art. 404. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2008016>
61. Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. *Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science*. Hoboken, NJ, Wiley, 2003. 760 p.
62. Mead R., Curnow R.N., Hasted A.M. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*. New York, Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203738559>
63. Milla-Moreno E.A., McKown A.D., Guy R.D., Soolanayakanahally R.Y. Leaf Mass per Area Predicts Palisade Structural Properties Linked to Mesophyll Conductance in Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.). *Botany*, 2016, vol. 94, no. 3, pp. 225–239. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjb-2015-0219>
64. Oszlanyi J. Consequences of Anthropogenic Impact on Danube Floodplain Forests in Slovakia. *Ecology (Bratislava). Journal for Ecological Problem of the Biosphere*, 1999, vol. 18, suppl. 1/1999, pp. 103–110.
65. Scarascia-Mugnozza G.E., Isebrands J.G., Hinckley T.M., Stettler R.F. Dynamics of Light Interception, Leaf Area and Biomass Production in *Populus* Clones in the Establishment Year. *Annals of Forest Science*, 1989, vol. 46, no. suppl., pp. 515s–518s. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:198905ART0116>
66. Slavov G.T., Zhelev P. Salient Biological Features, Systematics, and Genetic Variation of *Populus*. *Genetics and Genomics of Populus*. Ed. by S. Jansson, R. Bhalerao, A. Groover. New York, Springer, 2010, pp. 15–38. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1541-2_2
67. Srinagesh K. *The Principles of Experimental Research*. Waltham, MA, Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.
68. Zar J.H. *Biostatistical Analysis*. Edinburg Gate, Pearson, 2014. 756 p.