

Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов, И.И. Паникаров

**ПЫЛЕЗАДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ХВОИ
ЕЛИ КОЛЮЧЕЙ
В НАСАЖДЕНИЯХ Г. НИЖНЕГО НОВГОРОДА**

Введение. Неспасающая напряженность экологической обстановки в урбоэкосистемах в последние годы приобрела черты глобальной проблемы. Она вплотную касается Российской Федерации, не является исключением и г. Нижний Новгород. Наряду с организационными, технологическими и техническими решениями, применяемыми для приведения городской среды к нормам комфортности, в арсенале используемых для этой цели средств неизменно представлены насаждения из деревьев и кустарников, способные эффективно выполнять свои санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции. Они обладают уникальной способностью осаждать и удерживать пыль на своей листовой поверхности. Весьма эффективны в указанном аспекте представители рода ель (*Picea* A. Dietr.), широко распространенные в Северной Америке и Евразии [Воробьев и др., 2023; Лебедев и др., 2023; Hettera et al., 2016; Wehenkel et al., 2023]. Благодаря своим ценным признакам и свойствам [Жигунов, Шевчук, 2006; Бондаренко и др., 2022; Groot, 2013], существенному ресурсу адаптации [Кулькова и др., 2021; Olarescu et al., 2023], полиморфизму по многим хозяйственно значимым и жизненно важным характеристикам [Бондаренко и др., 2016; Волков, Калько, 2021; Бессчетнова и др., 2022; Porth et al., 2015; Varis et al., 2023; Savidge et al., 2023] они выступают неотъемлемым компонентом дендрофлоры городов, востребованы при создании плантационных и защитных насаждений различного целевого назначения и конструкций [Жигунов, Шевчук, 2006; Егоров и др., 2021; Kayama et al., 2002; Héroult et al., 2004; Lähde et al., 2010]. В Нижегородском Поволжье таковыми являются как аборигенные ель европейская (*Picea abies* (L.) H. Karst.) и ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) [Ершов и др., 2017, 2018; Бессчетнова и др., 2019; Воробьев и др., 2023], так и интродуцированные в регион виды и декоративные формы [Бессчетнова и др., 2017, 2018, 2019, 2022], в частности, ель колючая голубая (*Picea pungens* Engelm., f. *glauca*) [Кулькова и др., 2018а, б, 2021; Бессчетнова, Кулькова, 2019].

Цель исследования – оценить морфологические характеристики и формируемую ими пылезадерживающую способность листового аппарата ели колючей в трех функциональных зонах Нижнего Новгорода с разной степенью их антропогенного загрязнения.

Материалы и методика исследований. Объектом исследований явились одновозрастные репродуктивно зрелые деревья ели колючей, произрастающие в трех функциональных зонах города. Их характеристика по уровню антропогенной нагрузки и степени среднемесячного загрязнения атмосферы по значениям концентрации примесей $PM_{2,5}$ ($мкг/м^3$) следующая: зона 1 граничит с крупной автомагистралью, относится к средней (3) степени антропогенного воздействия, $8 мкг/м^3$. Зона 2 размещена в городской застройке в отдалении от крупных дорог, но рядом с второстепенной дорогой и относится к низкой (2) степени антропогенного воздействия, $6 мкг/м^3$. Зона 3 находится на территории дендрологического парка Нижегородского ГАТУ в отдалении от дорог, рядом с зеленой зоной города и относится к незначительной (1) степени антропогенного воздействия, $5 мкг/м^3$. По актуальному лесорастительному районированию территория дислокации указанных опытных участков относится к зоне хвойно-широколиственных лесов, хвойно-широколиственному лесному району европейской части Российской Федерации (3 лесорастительный район). В нем сложились достаточно благоприятные для многих хвойных, включая ель, почвенные и климатические условия [Алехин, 1935; Аверкиев, 1954; Полуяхтов, 1974; Куприянов и др., 1995], расположены места естественного обитания наиболее значимых в хозяйственном плане видов – ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) [Правдин, 1975], созданы их лесные культуры общего [Лабутин и др., 2020] и специального [Бессчетнова и др., 2019] назначения, селекционно-семеноводческие объекты [Ершов и др., 2017, 2018; Бессчетнова и др., 2019; Воробьев и др., 2023]. В зоне трансгрессии своих ареалов они образуют фертильные межвидовые гибриды, известные как ель финская (*Picea × fennica* (Regel) Ком.) [Орлова, Егоров, 2011; Наквасина, Прожерина, 2023; Hodgetts et al., 2001; Scotti et al., 2002; Gutkowska et al., 2017; Stojnić et al., 2019; Tóth et al., 2019]. Представления об успешной адаптации ели колючей в регионе и о возможностях формирования здесь ее деревьями листового аппарата достаточной мощности, обеспечивающего эффективную реализацию пылезадерживающей способности, базируются на положительных результатах интродукции в зону исследований целого ряда видов из состава рода Ель [Бессчетнова и др., 2017, 2019; Бессчетнова,

Кулькова, 2019; Кулькова и др., 2018а, б, 2021], а в последнее время – ели Шренка (*Picea schrenkiana* Fisch. & С.А. Меу.) [Бессчетнова и др., 2022; Kul'kova et al., 2022].

Работы проведены полевыми и лабораторными методами в апреле-мае 2023 г. Отбор биологических проб выполнен с дифференциацией по высоте (1,8 м и 4,5 м) и по расположению относительно проезжей части дороги, как источника загрязнения. В каждой зоне учтено по 5 деревьев с общим количеством 15 штук. Для оценки запыленности листовой поверхности с каждого из них отбиралось по 4 годичных побега с нормально развитыми неповрежденными хвоинками. Масса осевшей на хвое пыли определялась методом смыва, отстаивания и выпаривания в фарфоровой чаше на песчаной бане в вытяжном шкафу. Затем рабочую емкость с пылевым осадком взвешивали на аналитических весах с последующим вычитанием массы самой чаши, зафиксированной ранее. В построении организационно-методической схемы опыта учитывали ранее накопленный опыт [Бессчетнова, Бессчетнов, 2021]. Измеряли параметры каждой отдельной хвоинки: длину – линейкой с точностью до 0,5 мм; диагонали ромба на поперечном срезе – штангенциркулем с точностью до 0,1 мм; первая (большая) диагональ названа диаметром, вторая (меньшая) – шириной. Расчет площади поверхности хвои выполнен по общепринятой для этих целей формуле [Быков, 1983]

$$S = 2 \times L \times \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (1)$$

где S – площадь поверхности хвои; L – длина хвои; a – большая диагональ ромба на поперечном срезе хвои или диаметр; b – меньшая диагональ ромба на поперечном срезе хвои или ширина.

Для определения плотности охвоения произведен подсчет хвоинок на срезанном побеге (учетный образец для определения валового количества пыли в ее смывах), вручную, методом поштучного обрыва с последующим измерением длины побега линейкой с точностью до 0,5 мм. Статистическая обработка, включая дисперсионный анализ, проведена по общепринятым организационно-методическим схемам [Mason et al., 2003; Mead et al., 2003; Srinagesh, 2005; Hinkelmann, Kempthorne, 2008; Zar, 2014; Dean et al., 2017]. Масштабы изменчивости определяли по шкале С.А. Мамаева [Мамаев, 1969].

Результаты исследования. Установлены характеристики листового аппарата (хвои) учетных деревьев ели колючей для каждой из функциональных зон. Обнаружена их неоднородность по признакам, определяющим потенциал пылезадерживающей способности (табл. 1–3). В частности, по одному из основных показателей, формирующих площадь хвои – ее

длине – средние значения занимали рубежи от 1,82±0,055 см (зона 1) до 2,14±0,048 см (зона 3). Такое их соотношение сформировало превышение в 1,176 раза или на 0,13 см. Обобщенное для всего массива данных среднее (вариант Total₁) установилось на уровне 2,00±0,04 см, общий диапазон лимитов ($\Delta\text{lim} = \text{max.} - \text{min.}$) достиг 1,46 см (max. = 2,86 см; min. = 1,40 см), а их отношение – 2,043. Согласно коэффициенту вариации ($C_v = 15,46\%$) установленная изменчивость в большей мере соответствовала низкому уровню шкалы Мамаева ($C_v = 7...15\%$). При этом в пределах отдельной функциональной зоны города изменчивость, хотя и относилась к тому же уровню, но была несколько меньше: от 10,05% (зона 3) до 17,71% (зона 2).

Таблица 1

Линейные параметры хвон ели колючей в функциональных зонах¹

Linear parameters of prickly spruce needles in functional zones¹

Зоны	M±m	СКО	max.	min.	Δlim	C_v , %	t	P, %
Длина хвон, см – признак 1								
Зона 1	1,82±0,055	0,24	2,34	1,40	0,94	13,49	33,16	3,02
Зона 2	2,06±0,082	0,36	2,86	1,46	1,40	17,71	25,26	3,96
Зона 3	2,14±0,048	0,21	2,56	1,78	0,78	10,05	44,51	2,25
Total ₁	2,00±0,040	0,31	2,86	1,40	1,46	15,46	50,10	2,00
Диаметр хвон, мм – признак 2								
Зона 1	0,99±0,047	0,21	1,59	0,72	0,87	21,47	20,83	4,80
Зона 2	0,97±0,015	0,07	1,12	0,87	0,26	6,91	64,75	1,54
Зона 3	1,00±0,027	0,12	1,21	0,71	0,50	12,08	37,02	2,70
Total ₂	0,98±0,019	0,14	1,59	0,71	0,88	14,62	52,98	1,89
Ширина хвон, мм – признак 3								
Зона 1	0,83±0,040	0,18	1,17	0,42	0,75	21,88	20,44	4,89
Зона 2	0,81±0,020	0,09	0,99	0,62	0,37	11,26	39,72	2,52
Зона 3	0,87±0,020	0,09	1,05	0,68	0,37	10,48	42,67	2,34
Total ₃	0,83±0,017	0,13	1,17	0,42	0,75	15,40	50,31	1,99

¹ Статистики: M – среднее арифметическое; ±m – ошибка выборочного среднего; СКО – среднеквадратическое отклонение; max. – абсолютный максимум; min. – абсолютный минимум; Δlim – диапазон лимитов; C_v – коэффициент вариации, %; t – опытное значение критерия Стьюдента ($t_{05} = 2,09$; $t_{01} = 2,86$); P – относительная ошибка или точность опыта, %.

Еще одним параметром, определяющим листовую поверхность хвои, выступает ее средний диаметр. Он оказался достаточно стабильным, со средними значениями от $0,97 \pm 0,015$ мм (зона 2) до $1,00 \pm 0,027$ мм (зона 3). Отмеченный баланс оценок создал превышение в 1,027 раза или на 0,01 мм. Обобщенное среднее (вариант Total₂) составило $0,98 \pm 0,019$ мм. Общий диапазон лимитов (Δlim) достиг 0,88 мм (max. = 1,59 мм; min. = 0,71 мм), а их отношение – только 1,027. Коэффициент вариации в его обобщенных оценках ($C_v = 14,62\%$) представлял изменчивость как соответствующую низкому уровню шкалы Мамаева ($C_v = 7...15\%$). Изменчивость в пределах отдельной функциональной зоны была крайне не выровненной и относилась к очень низкому ($C_v < 7\%$), низкому ($C_v = 7...15\%$) и среднему ($C_v = 16...25\%$) уровням той же шкалы.

В образовании поверхности листового аппарата ели немаловажную роль играет ширина хвоинки. Ее средние величины также весьма стабильны и принимали значение от $0,81 \pm 0,020$ мм (зона 2) до $0,87 \pm 0,020$ мм (зона 3). Такое их распределение дало превышение в 1,074 раза или на 0,03 мм. Обобщенное среднее (вариант Total₃) составило $0,83 \pm 0,017$ мм, а общий диапазон лимитов достиг 0,75 мм (max. = 1,17 мм; min. = 0,42 мм), при их отношении 2,759. Коэффициент вариации рассматриваемого признака в его обобщенных оценках ($C_v = 15,40\%$) позволил отнести изменчивость к преимущественно низкому уровню шкалы Мамаева ($C_v = 7...15\%$). Изменчивость в пределах отдельной функциональной зоны и в этом случае неравномерна и относилась к низкому ($C_v = 7...15\%$) и среднему ($C_v = 16...25\%$) уровням той же шкалы.

Средние значения ключевого показателя, формирующего способность хвои к поглощению пыли – площади ее поверхности (табл. 2) – располагались в границах от $4,63 \pm 0,215$ см² до $5,66 \pm 0,141$ см², что вызвало превышение в 1,244 раза или на 0,51 см². Обобщенное среднее (вариант Total₄) было равно $5,16 \pm 0,119$ см², общий диапазон лимитов ($\Delta\text{lim} = \text{max.} - \text{min.}$) достиг 4,41 см² (max. = 7,50 см²; min. = 3,08 см²), а отношение – 2,433. В оценках коэффициента вариации ($C_v = 17,81\%$) установленная изменчивость соответствовала среднему уровню шкалы Мамаева ($C_v = 16...25\%$). При этом в пределах отдельной функциональной зоны города изменчивость рассматриваемого признака оказалась не выровненной по величине – от 11,15% (зона 3) до 20,76% (зона 1).

Таблица 2

Площадь смыва с поверхности хвои в функциональных зонах**The area of flushing from the surface of needles in functional zones**

Зоны	M±m	СКО	max.	min.	Δlim	Cv, %	t	P, %
Площадь поверхности одной хвоинки, см ² – признак 4								
Зона 1	4,63±0,215	0,96	7,50	3,08	4,41	20,76	21,55	4,64
Зона 2	5,18±0,191	0,86	6,53	3,52	3,01	16,50	27,10	3,69
Зона 3	5,66±0,141	0,63	6,55	4,11	2,43	11,15	40,10	2,49
Total ₄	5,16±0,119	0,92	7,50	3,08	4,41	17,81	43,49	2,30
Количество хвоинок в отдельном образце, шт. – признак 5								
Зона 1	169,70±12,07	53,99	288,00	83,00	205,00	31,81	14,06	7,11
Зона 2	178,05±13,64	61,00	329,00	98,00	231,00	34,26	13,05	7,66
Зона 3	181,45±11,58	51,77	268,00	87,00	181,00	28,53	15,68	6,38
Total ₅	176,40±7,10	55,00	329,00	83,00	246,00	31,18	24,85	4,02
Площадь смыва с поверхности отдельного образца хвои, м ² – признак 6								
Зона 1	0,08±0,006	0,03	0,14	0,03	0,11	35,64	12,55	7,97
Зона 2	0,09±0,006	0,03	0,15	0,05	0,09	28,33	15,79	6,33
Зона 3	0,10±0,008	0,04	0,16	0,04	0,12	33,92	13,19	7,58
Total ₆	0,09±0,004	0,03	0,16	0,03	0,13	34,40	22,52	4,44

Плотность охвоения побегов, включенных в образец для смыва с листовой поверхности пыли, – немаловажный фактор, определяющий пылезадерживающую способность растений. В этом плане учетные деревья каждой из функциональных зон также были неодинаковы (см. табл. 2): от 169,70±12,072 шт. (зона 1) до 181,45±11,575 шт. (зона 3), что сформировало превышение больших над меньшими в 1,069 раза или на 5,05 шт. Среднее для всего массива (Total₅) составило 176,40±7,100 шт. Общий диапазон лимитов достиг 246 шт. (max. = 329 шт.; min. = 83 шт.), а их отношение – 3,964. В обобщенных оценках коэффициента вариации (Cv = 31,18%) такая изменчивость соответствовала повышенному уровню шкалы Мамаева (Cv = 26...35%). В пределах каждой отдельной функциональной зоны города изменчивость рассматриваемого признака оказалась сравнительно выровненной и относилась к тому же уровню – от 28,35% (зона 3) до 34,26% (зона 2).

Зависящая от размеров годовичных приростов и количества хвоинок на них, формируемая в опыте поверхность смыва отдельного образца также была неодинаковой (см. табл. 2). Ее средние значения достаточно выровнены и укладывались в границы от $0,08 \pm 0,01 \text{ м}^2$ (зона 1) до $0,10 \pm 0,01 \text{ м}^2$ (зона 3). Такой незначительный разброс оценок создал превышение в 1,329 раза или на $0,01 \text{ м}^2$ при обобщенном среднем ($Total_6$), равном $0,98 \pm 0,02 \text{ м}^2$. Диапазон лимитов в общем массиве достиг $0,13 \text{ м}^2$ (max. = $0,03 \text{ м}^2$; min. = $0,16 \text{ м}^2$), а их отношение – 5,306. Коэффициент вариации в этой совокупности ($Cv = 34,40\%$) был ближе к повышенному уровню шкалы Мамаева ($Cv = 26...35\%$). Изменчивость в рамках отдельной зоны также относилась преимущественно к повышенному уровню шкалы Мамаева ($Cv = 26...35\%$) – от 28,33% (зона 2) до 35,64% (зона 1).

Базовым элементом в расчетах пылезадерживающей способности служит физическая масса пыли, смытой с одного тестового образца при фиксированной площади его листовой поверхности (табл. 3). Она оказалась достаточно неравнозначной со средними значениями от $0,01 \pm 0,001 \text{ г}$ до $0,04 \pm 0,003 \text{ г}$, которые образовали превышение в 3,976 раза или на $0,017 \text{ г}$. При обобщенном среднем ($Total_7$), которое составило $0,03 \pm 0,002 \text{ г}$, диапазон лимитов достиг $0,08 \text{ г}$ (max. = $0,08 \text{ г}$; min. = $0,002 \text{ г}$), а их отношение – 42,5. На этом фоне коэффициент вариации ($Cv = 62,07\%$) определил изменчивость как принадлежащую очень высокому уровню шкалы Мамаева ($Cv > 50\%$). Варьирование по отдельной функциональной зоне столь же заметно, хотя и менее выровнено – от 30,29 до 53,50%.

Таблица 3

Пылезадерживающая способность хвои в функциональных зонах

Dust-retaining ability of needles in functional areas

Зоны	M±m	СКО	max.	min.	Δlim	Cv, %	t	P, %
Масса пыли в смыве с одного образца хвои, г – признак 7								
Зона 1	$0,01 \pm 0,001$	0,01	0,03	0,00	0,02	53,50	8,36	11,96
Зона 2	$0,04 \pm 0,003$	0,01	0,08	0,03	0,05	30,29	14,76	6,77
Зона 3	$0,02 \pm 0,002$	0,01	0,04	0,01	0,04	33,39	13,40	7,47
Total ₇	$0,03 \pm 0,002$	0,02	0,08	0,00	0,08	62,07	12,48	8,01
Пылезадерживающая способность хвои, мг/м ² – признак 8								
Зона 1	$148,48 \pm 22,809$	102,01	432,04	19,05	412,99	68,70	6,51	15,36
Зона 2	$490,15 \pm 39,300$	175,76	875,34	219,05	656,29	35,86	12,47	8,02
Зона 3	$263,60 \pm 35,006$	156,55	698,96	35,92	663,04	59,39	7,53	13,28
Total ₈	$300,74 \pm 26,356$	204,15	875,34	19,05	856,29	67,88	11,41	8,76

Пылезадерживающая способность деревьев в обследованных городских насаждениях оценивалась показателем, представляющим собой отношение массы пыли к площади листового аппарата (см. табл. 3). Средние величины указанной характеристики принимали значение от $148,48 \pm 22,809$ мг/м² до $490 \pm 39,300$ мг/м², образовав превышение в 3,301 раза или на $226,55$ мг/м². Обобщенное среднее (Total_g) составило $300,74 \pm 26,356$ мг/м², а общий диапазон лимитов достиг $856,29$ мг/м² (max. = $875,34$ мг/м²; min. = $19,05$ мг/м²) при их отношении 49,94. Коэффициент вариации в указанном примере ($C_v = 67,88\%$) определил изменчивость как очень высокую по шкале Мамаева ($C_v > 50\%$). В пределах частной функциональной зоны она относилась к высокому ($C_v = 36...50\%$) или очень высокому ($C_v > 50\%$) уровням той же шкалы.

Оценить масштабы различий в пылезадерживающей способности ели колючей на обследованных участках городских насаждений и выявить степень влияния на них специфики условий местопроизрастания позволил дисперсионный анализ, проведенный по однофакторной схеме (табл. 4).

Таблица 4

Существенность различий в показателях пылезадерживающей способности ели колючей в условиях городской среды^{1,2}

The significance of differences in the indicators of the dust-retaining ability of the prickly spruce in the urban environment^{1,2}

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору			
		h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	7,03	0,1979	0,0281	0,2317	0,0270	0,175	0,290
Признак 2	0,17	0,0060	0,0349	—	—	0,090	0,150
Признак 3	1,15	0,0388	0,0337	0,0074	0,0348	0,079	0,132
Признак 4	7,88	0,2167	0,0275	0,2560	0,0261	0,513	0,851
Признак 5	3,75	0,1163	0,0310	0,1210	0,0308	0,019	0,031
Признак 6	57,64	0,6691	0,0116	0,7390	0,0092	0,006	0,009
Признак 7	27,55	0,4916	0,0178	0,5704	0,0151	91,795	152,338

¹ Обозначения: F_{оп} – опытное значение критерия Фишера; F_{05/01} – табличное значение на 5-процентном и на 1-процентном уровне значимости (F₀₅/F₀₁ = 3,15/4,98); h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния организованного фактора; F_{h²} – критерий достоверности доли влияния организованного фактора; HCP₀₅ – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости; D₀₅ – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости; число первичных единиц выборки по одному признаку – 60 п.е.в.

² Признаки ели колючей: признак 1 – длина хвои; признак 2 – диаметр хвои; признак 3 – ширина хвои; признак 4 – расчетная площадь одной хвоинки; признак 5 – общая площадь поверхности смыва одного образца хвои; признак 6 – масса пыли на одном образце хвои; признак 7 – пылезадерживающая способность 1 м² поверхности хвои.

Установлено, что городские насаждения ели колочей существенно различаются между собой по большинству показателей, определяющих в конечном итоге их пылезадерживающую способность. Опытные критерии Фишера чаще превышали соответствующие табличные значения для заданного числа степеней свободы как на 5-процентном, так и на 1-процентном уровне значимости ($F_{05} = 3,15$; $F_{01} = 4,98$). Такой исход данного этапа дисперсионного анализа позволил отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии различий между сравниваемыми опытными участками. Это создало возможность для его продолжения в части вычисления оценок эффективности влияния организованного фактора (различия между экологическими условиями и уровнем загрязнения среды) на формирование общего фона фенотипической изменчивости по тестируемым признакам.

В расчетах по алгоритму Плохинского доля его влияния достаточно высока, неодинакова по величине и в случаях с подтвержденной существенностью различий составляет от $11,63 \pm 3,10\%$ ($F_h^2 = 3,752$) по общей площади поверхности смыва одного образца хвои (признак 5) до $66,91 \pm 1,16\%$ ($F_h^2 = 57,639$) по массе пыли на одном образце (признак 6). При этом оценки указанного эффекта по общей площади поверхности смыва одного образца хвои (признак 5) статистически надежными были на 5-процентном, но не подтвердили это на 1-процентном уровне значимости. Следует отметить, что комплекс относительных признаков, полученных вследствие математических преобразований (признаки 4, 5, 7), обладал статистически значимыми показателями силы влияния организованного фактора (в нашем случае – специфики условий местопроизрастания в функциональных зонах городской среды) на общий фон фиксируемой в опыте фенотипической дисперсии. То же может быть сказано в отношении части признаков непосредственного учета (признаки 1, 6). Обладающий наибольшей информативной значимостью в тематическом контексте статьи показатель пылезадерживающей способности 1 м^2 поверхности хвои демонстрировал достаточно высокую чувствительность к влиянию пестроты экологического фона: $h^2 \pm s_h^2 = 49,16 \pm 1,78$ ($F_h^2 = 27,554$). Доля случайных факторов, под влиянием которых формировалась остаточная дисперсия, причину возникновения которой традиционно связывают с факторами среды, чаще превалировала и составила от $33,09\%$ (признак 6) до $88,37\%$ (признак 5). Это подтверждает существующие представления о том, что количественные параметры листового аппарата и кроны деревьев во многом определяются условиями их произрастания (в нашем случае рассматривается пестрота экологического фона в пределах каждой из функцио-

нальных зон). Косвенно данное обстоятельство указывает на перспективность применения в искусственных насаждениях (в нашем случае – городских посадках ели колючей) агротехнических уходов как действенной меры в оказании влияния на их рост и развитие. Выполнение расчетов с привлечением алгоритма Снедекора дало вполне сопоставимые итоги (даже несколько большие), что подтвердило устойчивый характер оценок, надежность результатов данного этапа дисперсионного анализа и успешность его завершения (табл. 4).

Критерии существенности различий (HCp_{05} и D_{05}) определили рубеж, превысив который, различия в тестируемых признаках приобретали статус существенных. Так, по длине хвои ее средние величины на участке в центральной части города у дорожного покрытия (зона 1) существенно отклонялись от аналогичных статистик двух других участков (зоны 2 и 3). В то же время оценки, полученные в других условиях (зоны 2 и 3), имели только по одному существенному отклонению от остальных (в нашем случае – от оценок зоны 1) каждая. Иная картина сложилась при использовании в парном сравнении оценок более строгого показателя D-критерия Тьюки. В этом случае по одному существенному отклонению от остальных имели насаждения в зоне 1 и в зоне 3. Насаждения во дворах на относительном отдалении от крупных дорог (зона 2) не образовали существенных отличий от остальных. В большей степени различия между характеристиками насаждений, созданных в трех функциональных зонах на территории г. Нижнего Новгорода, проявились по их пылезадерживающей способности. В частности, на каждом из участков насаждения существенно отличались от всех остальных по данному признаку. В целом, можно отметить то, что по каждому из признаков (табл. 1–3) складывалась своя ситуация с образованием существенных различий между созданными на них насаждениями.

Выводы. 1. Ель колючая способна формировать в условиях объектов озеленения г. Нижнего Новгорода хорошо развитый листовой аппарат, мощность которого достаточна для эффективного выполнения ее деревьями, достигшими репродуктивной фазы онтогенеза, пылезадерживающей функции.

2. Искусственные насаждения ели колючей, созданные в разных по напряженности экологической обстановки функциональных зонах г. Нижнего Новгорода, дифференцируются по характеристикам листового аппарата, формирующим в конечном итоге их пылезадерживающую способность.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Аверкиев Д.С. История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Ученые записки Горьковского университета. 1954. Вып. XXXV. С. 119–136.

Алехин В.В. Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000). Ленинград – Горький: Горьковский государственный университет – 1 картографическая фабрика ВКТ (тип. 1 картогр. фабрики ВКТ), 1935. 67 с.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Еришов П.В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской // ИВУЗ. Лесной журнал. 2019. № 1. С. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Мамонов Е.И., Запольнов В.Е. Рост сеянцев ели Шренка (*Picea schrenkiana*) в условиях интродукции в Нижегородскую область // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 67–87. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.67-87

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 // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов П.В. Дифференциация пылезадерживающей способности кроны тополей // ИВУЗ. Лесной журнал. 2021. № 5. С. 48–64. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64

Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В. Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода ель (*Picea* L.) в условиях Нижегородской области // ИВУЗ. Лесной журнал. 2019. № 6. С. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52

Бондаренко А.С., Жигунов А.В., Левкоев Э.А. Влияние селекционных мероприятий на фенотипическое и генетическое разнообразие семенного потомства плюсовых деревьев ели европейской и сосны обыкновенной // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 216. С. 6–17. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.216.6-17

Бондаренко А.С., Жигунов А.В., Мозжерин Я.Е. Сравнение скорости роста семенного и автовегетативного потомства ели европейской // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 37–54. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.37-54

Быков Б.А. Экологический словарь. Алма-Ата: Наука, 1983. 216 с.

Волков В.А., Калько Г.В. Анализ полиморфизма микросателлитных локусов в популяциях *Picea abies* (L.) N. Karst. и *Picea obovata* Ledeb. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 97–108. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.97-108

Воробьев Р.А., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Тютин А.Н. Таксационные показатели клонов плюсовых деревьев ели европейской в архиве клонов в Нижегородской области // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 1. С. 12–23. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-1-12-2

Егоров А.Б., Постников А.М., Бубнов А.А., Павлюченкова Л.Н., Партолина А.Н. Выращивание культур ели с применением современных гербицидов, не требующее проведения агротехнических уходов // ИВУЗ. Лесной журнал. 2021. № 3. С. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-9-23

Еришов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев ели европейской // Хвойные бореальной зоны. 2017. Т. XXXVI, № 3-4. С. 29–37.

Еришов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многомерная оценка плюсовых деревьев ели европейской (*Picea abies*) по пигментному составу хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 233. С. 78–99.

Жигунов А.В., Шевчук С.В. Лесные культуры сосны и ели из посадочного материала, выращенного комбинированным методом // ИВУЗ. Лесной журнал. 2006. № 6. С. 14–20.

Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрическая оценка таксономической близости видов ели (*Picea* A. Dietr.) по пигментному составу хвои // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2018а. № 1(37). С. 5–18.

Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*) // ИВУЗ. Лесной журнал. 2018б. № 6. С. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23.

Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сезонные изменения пигментного состава хвои представителей рода ель в Нижегородской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 22–39. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.22-39

Куприянов Н.В., Веретенников С.С., Шишов В.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области. Нижний Новгород: Волго-Вятское книжное издательство, 1995. 349 с.

Лабутин А.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Эффективность лесных культур сосны и ели, созданных в Нижегородской области в рамках реализации проекта «Леса Киото» // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: матер. XVIII Междунар. науч.-технич. конф.: г. Вологда, 1 декабря 2020 г. / отв. ред. С.М. Хамитова. Вологда: ВоГУ, 2020. С. 72–74.

Лебедев В.М., Лебедев Е.В., Сорокопудов В.Н., Ларионов М.В. Корневое питание, фотосинтез и чистая первичная продукция у древостоев рода *Picea* на уровне организма в пределах российского ареала // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. № 1. С. 38–50. URL: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-38-50>

Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. II. Амплитуда изменчивости // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: Труды Института экологии растений и животных. Свердловск, 1969. С. 3–38.

Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А. Оценка отклика на изменение климата в опытах с происхождениями *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) на севере Русской равнины // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. № 1. С. 22–37. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-22-37

Орлова Л.В., Егоров А.А. К систематике и географическому распространению ели финской (*Picea fennica* (Regel) Kom., Pinaceae) // Новости систематики высших растений. 2011. Т. 42. С. 5–23. DOI: 10.31111/novitates/2011.42.5

Полухтов 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.

Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. Москва: Наука, 1975. 178 с.

Dean A., Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-VerlagGmbH, 2017. 865 p.

Groot A. Fifteen-year results of black spruce uneven-aged silviculture in Ontario, Canada // Forestry. 2013. Vol. 87, iss. 1. P. 99–107. DOI: 10.1093/forestry/cpt021

Gutkowska J., Borys M., Tereba A., Tkaczyk M., Oszako T., Nowakowska J.A. Genetic variability and health of Norway spruce stands in the Regional Directorate of the State Forests in Krosno // Forest Research Papers. 2017. Vol. 78, iss. 1. P. 56–66. DOI: 10.1515/frp-2017-0006

Hérault B., Thoën D., Honnay O. Assessing the potential of natural woody species regeneration for the conversion of Norway spruce plantations on alluvial soils // Annals of Forest Science. 2004. Vol. 61, no. 7. P. 711–719. DOI: 10.1051/forest:2004057

Herrera F., Leslie A.B., Shi G., Knopf P., Ichinnorov N., Takahashi M., Crane P.R., Herendeen P.S. New fossil Pinaceae from the Early Cretaceous of Mongolia // Canadian Journal of Botany. 2016. Vol. 94, iss. 9. P. 885–915. DOI: 10.1139/cjb-2016-0042

Hinkelmann K., Kempthorne O. Design and Analysis of Experiments, Volume 1: Introduction to Experimental. 2nd edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2008. 631 p.

Hodgetts R.B., Aleksiuik M.A., Brown A., Clarke C., Macdonald E., Nadeem S., Khasa D.P. Development of microsatellite markers for white spruce (*Picea glauca*) and related species // Theoretical and Applied Genetics. 2001. Vol. 102, iss. 8. P. 1252–1258. DOI: 10.1007/s00122-001-0546-0

Kayama M., Sasa K., Koike T. Needle life span, photosynthetic rate and nutrient concentration of *Picea glehnii*, *P. jezoensis* and *P. abies* planted on serpentine soil in northern Japan // Tree Physiology. 2002. Vol. 22, no. 10. P. 707–716. DOI: 10.1093/treephys/22.10.707

Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaev Y.Zh., Kentbaeva B.A. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment // ИВУЗ. Лесной журнал. 2022. № 4. С. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51

Lähde E., Laiho O., Lin C.J. Silvicultural alternatives in an uneven-sized forest dominated by *Picea abies* // Journal of Forest Research. 2010. Vol. 15, iss. 1. P. 14–20. DOI: 10.1007/s10310-009-0154-4

Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.

Mead R., Curnow R.N., Hasted A.M. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. 3rd ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p.

Olarescu A.M., Lunguleasa A., Radulescu L., Spirchez C. Manufacturing and Testing the Panels with a Transverse Texture Obtained from Branches of Norway Spruce (*Picea abies* L. Karst.) // Forests. 2023. Vol. 14, iss. 4, article numb. 665. P. 1–20. DOI: 10.3390/f14040665

Porth I., Bull G., Ahmed S., El-Kassaby Y.A., Boyland M. Forest genomics research and development in Canada: Priorities for developing an economic framework // Forestry Chronicle. 2015. Vol. 91, no. 1. P. 60–70, DOI: 10.5558/tfc2015-011

Savidge R.A., Yuan X., Foerster H. Gişogenetic Variation in White-Spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) Trees of Yukon Beringia, Canada // Forests. 2023. Vol. 14, iss. 4, article numb. 787. P. 1–32. DOI: 10.3390/f14040787

Scotti I., Magni F., Paglia G., Morgante M. Trinucleotide microsatellites in Norway spruce (*Picea abies*): their features and the development of molecular markers // Theoretical and Applied Genetics, 2002. Vol. 106, iss. 1. P. 40–50. DOI: 10.1007/s00122-002-0986-1

Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.

Stojnić S., Avramidou E.V., Fussi B., Westergren M., Orlović S., Matović B., Trudić B., Kraigher H., Aravanopoulos F.A., Konnert M. Assessment of genetic diversity and population genetic structure of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) at Its southern lineage in Europe. Implications for conservation of forest genetic resources // Forests. 2019. Vol. 10, iss. 3, article numb. 258. P. 1–15. DOI: 10.3390/f10030258

Tóth E.G., Tremblay F., Housset J.M., Bergeron Y., Carcaillet C. Geographic isolation and climatic variability contribute to genetic differentiation in fragmented populations of the long-lived subalpine conifer *Pinus cembra* L. in the western Alps // BMC Evolutionary Biology. 2019. Vol. 19, iss. 1, article numb. 190. P. 1–8. DOI: 10.1186/s12862-019-1510-4

Varis S., Tikkinen M., Edesi J., Aronen T. How to Capture Thousands of Genotypes – Initiation of Somatic Embryogenesis in Norway Spruce // Forests. 2023. Vol. 14, iss. 4, article numb. 810. P. 1–16. DOI: 10.3390/f14040810

Wehenkel C., Torres-Valverde J.M., Hernández-Díaz J.C., Mendoza-Maya E., Carrillo-Parra A., Solís-González S., López-Upton J. Adaptive Trait Variation in Seedlings of Rare Endemic Mexican Spruce Provenances under Nursery Conditions // *Forests*. 2023. Vol. 14, iss. 4, article numb. 790. P. 1–18. DOI: 10.3390/f14040790

Zar J.H. *Biostatistical Analysis: Fifth Edition*. Edinburg Gate: Pearson New International edition – Pearson Education Limited, 2014. 756 p.

References

Averkiev D.S. The history of the development of the vegetation cover of the Gorky region and its botanical and geographical division. *Scientific notes of the Gorky University*, 1954, iss. XXXV, pp. 119–136. (In Russ.)

Alyokhin V.V. Explanatory note to geobotanical maps of the (modern and restored) former Nizhny Novgorod province (on a scale of 1:500.000). Leningrad – Gorky: Gorky State University – 1 cartographic factory of the CGT (type 1 cartographic factory of the CGT), 1935. 67 p. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Ershov P.V. Genotypic conditionality of the pigment composition of the needles of the plus trees of the European spruce. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2019, no. 1, pp. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaeva B.A., Kentbaev E.Zh., Mamonov E.I., Zapolnov V.E. Growth of seedlings of spruce Schrenka (*Picea schrenkiana*) in conditions of introduction to the Nizhny Novgorod region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2022, iss. 238, pp. 67–87. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.67-87. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kulkova A.V., Mishukova I.V. Starch content in the tissues of shoots of different types of spruce (*Picea* A. Dietr.) in the conditions of introduction. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2017, no. 4, pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2017.4.57. (In Russ.)

Besschetnova N.N., Besschetnov P.V. Differentiation of the dust-retaining ability of poplar crowns. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2021, no. 5, pp. 48–64. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64

Besschetnova N.N., Kulikova A.V. The content of spare nutrients in the tissue cells of annual shoots of representatives of the genus spruce (*Picea* L.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2019, no. 6, pp. 52–61. DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2019.6.52.

Bondarenko A.S., Zhigunov A.V., Levkoev E.A. The influence of breeding measures on the phenotypic and genetic diversity of the seed progeny of plus trees of European spruce and Scots pine. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnikeskoj akademii*, 2016, iss. 216, pp. 6–17. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.216.6-17. (In Russ.)

Bondarenko A.S., Zhigunov A.V., Mozherin Ya.E. Comparison of the growth rate of seed and auto-vegetative offspring of European spruce. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2022, iss. 239, pp. 37–54. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.37-54. (In Russ.)

Bykov B.A. Ecological dictionary. Alma-Ata: Nauka, 1983. 216 p. (In Russ.)

Volkov V.A., Kalko G.V. Analysis of polymorphism of microsatellite loci in populations of *Picea abies* (L.) H. Karst. and *Picea obovata* Ledeb. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehneskoj akademii*, 2021, iss. 237, pp. 97–108. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.97-108. (In Russ.)

Vorobyev R.A., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Tyutin A.N. Taxational indicators of clones of plus trees of European spruce in the archive of clones in the Nizhny Novgorod region. *Coniferous boreal zones*, 2023, vol. XLI, no. 1, pp. 12–23. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-1-12-2

Egorov A.B., Postnikov A.M., Bubnov A.A., Pavluchenkova L.N., Partolina A.N. Cultivation of Spruce Plantations Using Modern Herbicides without Agrotechnical Weeding. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2021, no. 3, pp. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-9-23. (In Russ.)

Yershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Pigment composition of needles of plus trees of European spruce. *Coniferous of boreal zone*, 2017, vol. XXXVI, no. 3-4, pp. 29–37. (In Russ.)

Yershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multivariate estimation of European spruce (*Picea abies*) plus trees by the pigment composition of needles. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehneskoj akademii*, 2018, iss. 233, pp. 78–99. (In Russ.)

Zhigunov A.V., Shevchuk S.V. Forest cultures of pine and spruce from the planting material grown by the combined method. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2006, no. 6, pp. 14–20. (In Russ.)

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multiparametric assessment of the taxonomic proximity of spruce species (*Picea* A. Dietr.) by the pigment composition of needles. *Bulletin of PSTU. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2018a, no. 1(37), pp. 5–18. (In Russ.)

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multiparametric analysis in assessing the species specificity of representatives of the genus spruce (*Picea*), *Izvestia of higher educational institutions. Forest magazine*, 2018b, no. 6, pp. 23–38. DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2018.6.23. (In Russ.)

Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Seasonal changes in the pigment composition of needles of the spruce genus in the Nizhny Novgorod region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehneskoj Akademii*, 2021, iss. 235, pp. 22–39. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.22-39. (In Russ.)

Kupriyanov N.V., Veretennikov S.S., Shishov V.V. Forests and forestry of the Nizhny Novgorod region. Nizhny Novgorod: Volga-Vyatka Book Publishing House, 1995. 349 p. (In Russ.)

Labutin A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. The effectiveness of pine and spruce forest crops created in the Nizhny Novgorod region within the framework of the Kyoto Forests project. *Actual problems of the development of the forest complex: materials of the XVIII International Scientific and Technical Conference: Vologda, December 1, 2020* / ed. by S.M. Khamitova. Vologda: VoGTU, 2020, pp. 72–74. (In Russ.)

Lebedev V.M., Lebedev E.V., Sorokopudov V.N., Larionov M.V. Root Nutrition, Photosynthesis, and Net Primary Production in Tree Stands of the Genus *Picea* at the Organism Level Within the Range in Russia. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 1, pp. 38–50. URL: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-38-50>. (In Russ.)

Mamaev S.A. On problems and methods of intraspecific systematics of woody plants. II. Amplitude of variability. *Regularities of species formation and differentiation in woody plants*: Proceedings of the Institute of Plant and Animal Ecology / Responsible editor P.L. Gorchakovskiy, iss. 64. Sverdlovsk: Editorial and Publishing Council of the Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1969, pp. 3–38. (In Russ.)

Nakvasina E.N., Prozherina N.A. Assessment of Response to Climate Change in Experiments with the Origins of *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) in the North Russian Plain. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 1, pp. 22–37. (In Russ.). URL: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-22-37> (In Russ.)

Poluyakhtov K.K. Forest-growing zoning of the Gorky region, *Biological bases of increasing productivity and protection of forest, meadow and aquatic phytocenoses of the Gorky Volga region*. Gorky: GSU, 1974, pp. 4–20. (In Russ.)

Pravdin L.F. European spruce and Siberian spruce in the USSR. M.: Nauka, 1975. 178 p. (In Russ.)

Dean A., Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-VerlagGmbH, 2017. 865 p.

Groot A. Fifteen-year results of black spruce uneven-aged silviculture in Ontario, Canada. *Forestry*, 2013, vol. 87, iss. 1, pp. 99–107. DOI: 10.1093/forestry/cpt021

Gutkowska J., Borys M., Tereba A., Tkaczyk M., Oszako T., Nowakowska J.A. Genetic variability and health of Norway spruce stands in the Regional Directorate of the State Forests in Krosno. *Forest Research Papers*, 2017, vol. 78, iss. 1, pp. 56–66. DOI: 10.1515/frp-2017-0006

Hérault B., Thoen D., Honnay O. Assessing the potential of natural woody species regeneration for the conversion of Norway spruce plantations on alluvial soils. *Annals of Forest Science*, 2004, vol. 61, no. 7, pp. 711–719. DOI: 10.1051/forest:2004057

Herrera F., Leslie A.B., Shi G., Knopf P., Ichinnorov N., Takahashi M., Crane P.R., Herendeen P.S. New fossil Pinaceae from the Early Cretaceous of Mongolia. *Canadian Journal of Botany*, 2016, vol. 94, iss. 9, pp. 885–915. DOI: 10.1139/cjb-2016-0042

Hinkelmann K., Kempthorne O. Design and Analysis of Experiments, Volume 1: Introduction to Experimental. 2nd edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2008. 631 p.

Hodgetts R.B., Aleksyuk M.A., Brown A., Clarke C., Macdonald E., Nadeem S., Khasa D.P. Development of microsatellite markers for white spruce (*Picea glauca*) and related species. *Theoretical and Applied Genetics*, 2001, vol. 102, iss. 8, pp. 1252–1258. DOI: 10.1007/s00122-001-0546-0

Kayama M., Sasa K., Koike T. Needle life span, photosynthetic rate and nutrient concentration of *Picea glehnii*, *P. jezoensis* and *P. abies* planted on serpentine soil in northern Japan. *Tree Physiology*, 2002, vol. 22, no. 10, pp. 707–716. DOI: 10.1093/treephys/22.10.707

Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaev Y.Zh., Kentbaeva B.A. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2022, no. 4, pp. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51

Lähde E., Laiho O., Lin C.J. Silvicultural alternatives in an uneven-sized forest dominated by *Picea abies*. *Journal of Forest Research*, 2010, vol. 15, iss. 1, pp 14–20. DOI: 10.1007/s10310-009-0154-4

Mason R.L., Gunst R.F., Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.

Mead R., Curnow R.N., Hasted A.M. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. 3rd ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p.

Olarescu A.M., Lunguleasa A., Radulescu L., Spirchez C. Manufacturing and Testing the Panels with a Transverse Texture Obtained from Branches of Norway Spruce (*Picea abies* L. Karst.). *Forests*, 2023, vol. 14, iss. 4, article numb. 665, pp. 1–20. DOI: 10.3390/f14040665

Porth I., Bull G., Ahmed S., El-Kassaby Y.A., Boyland M. Forest genomics research and development in Canada: Priorities for developing an economic framework. *Forestry Chronicle*, 2015, vol. 91, no. 1, pp. 60–70. DOI: 10.5558/tfc2015-011

Savidge R.A., Yuan X., Foerster H. Gişogenetic Variation in White-Spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) Trees of Yukon Beringia, Canada. *Forests*, 2023, vol. 14, iss. 4, article numb. 787, pp. 1–32. DOI: 10.3390/f14040787

Scotti I., Magni F., Paglia G., Morgante M. Trinucleotide microsatellites in Norway spruce (*Picea abies*): their features and the development of molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 2002, vol. 106, iss. 1, pp. 40–50. DOI: 10.1007/s00122-002-0986-1

Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.

Stojnić S., Avramidou E.V., Fussi B., Westergren M., Orlović S., Matović B., Trudić B., Kraigher H., Aravanopoulos F.A., Konnert M. Assessment of genetic diversity and population genetic structure of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) at Its southern lineage in Europe. Implications for conservation of forest genetic resources. *Forests*, 2019, vol. 10, iss. 3, article numb. 258, pp. 1–15. DOI: 10.3390/f10030258

Tóth E.G., Tremblay F., Housset J.M., Bergeron Y., Carcaillet C. Geographic isolation and climatic variability contribute to genetic differentiation in fragmented populations of the long-lived subalpine conifer *Pinus cembra* L. in the western Alps.

BMC Evolutionary Biology, 2019, vol. 19, iss. 1, article numb. 190, pp. 1–8. DOI: 10.1186/s12862-019-1510-4

Varis S., Tikkinen M., Edesi J., Aronen T. How to Capture Thousands of Genotypes – Initiation of Somatic Embryogenesis in Norway Spruce. *Forests*, 2023, vol. 14, iss. 4, article numb. 810, pp. 1–16. DOI: 10.3390/f14040810

Wehenkel C., Torres-Valverde J.M., Hernández-Díaz J.C., Mendoza-Maya E., Carrillo-Parra A., Solís-González S., López-Upton J. Adaptive Trait Variation in Seedlings of Rare Endemic Mexican Spruce Provenances under Nursery Conditions. *Forests*, 2023, vol. 14, iss. 4, article numb. 790, pp. 1–18. DOI: 10.3390/f14040790

Zar J.H. *Biostatistical Analysis: Fifth Edition*. Edinburg Gate: Pearson New International edition – Pearson Education Limited, 2014. 756 p.

Материал поступил в редакцию 14.07.2023

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Паникаров И.И. Пылезадерживающая способность хвои ели колючей в насаждениях г. Нижнего Новгорода // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 247. С. 188–208.* DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.188-208

Актуальность работы обусловлена остротой экологических проблем урбанизированных территорий и потребностью в снижении загрязнения атмосферы городов. В данном контексте ель колючая, в частности ее форма с голубой окраской хвои (*Picea pungens* Engelm., *f. glauca*), весьма эффективна. В этой связи изучали пылезадерживающую способность хвои, а также параметры, формирующие листовую поверхность кроны. Объектом исследований явились одновозрастные репродуктивно зрелые деревья указанного вида, произрастающие в трех функциональных зонах г. Нижнего Новгорода с разной степенью антропогенного загрязнения. По лесорастительному районированию места дислокации опытных участков относятся к зоне хвойно-широколиственных лесов, хвойно-широколиственному лесному району европейской части Российской Федерации (3 лесорастительный район). Работы проведены полевыми и лабораторными методами. Отбор биологических проб выполнен с дифференциацией по высоте и по расположению относительно источников загрязнения. Дана сравнительная оценка поверхности хвои и ее пылезадерживающей способности у деревьев данной породы, произрастающих в разных функциональных зонах г. Нижнего Новгорода в условиях неодинакового антропогенного загрязнения среды. Показана индивидуальная фенотипическая изменчивость исследуемых параметров учетных деревьев, и определены различия по ним, связанные с размещением на участках, характеризующихся неодинаковым уровнем антропогенного загрязнения. Физическая масса пыли, смывой с одного тестового образца при фиксированной площади его листовой

поверхности варьировала от $0,01 \pm 0,001$ г до $0,04 \pm 0,003$ г. Пылезадерживающая способность принимала значения от $148,48 \pm 22,809$ мг/м² до $490 \pm 39,300$ мг/м². Сделан вывод о способности ели колючей формировать в условиях объектов озеленения г. Нижнего Новгорода хорошо развитый листовой аппарат, мощность которого достаточна для эффективного выполнения ее деревьями, достигшими репродуктивной фазы онтогенеза, пылезадерживающей функции.

Ключевые слова: ель колючая, репродуктивно зрелые деревья, рост, развитие, параметры хвои, пылезадерживающая способность, изменчивость.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Panikarov I.I. The dust-retaining ability of the needles of the prickly spruce in the plantings of Nizhny Novgorod. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 247, pp. 188–208 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.188-208

The relevance of the work is due to the severity of environmental problems of urbanized territories and the need to reduce urban air pollution. In this context, the prickly spruce, in particular its shape with a blue color of needles (*Picea pungens* Engelm., *f. glauca*), is very effective. In this regard, the dust-retaining ability of needles was studied, as well as the parameters forming the leaf surface of the crown. The object of research were reproductively mature trees of the same age of the specified species growing in three functional zones of Nizhny Novgorod with varying degrees of anthropogenic pollution. According to the forest-growing zoning, the locations of the experimental plots belong to the zone of coniferous-deciduous forests, coniferous-deciduous forest area of the European part of the Russian Federation (3 forest-growing area). The work was carried out by field and laboratory methods. Biological sampling was carried out with differentiation in height and location relative to pollution sources. A comparative assessment of the surface of needles and its dust-retaining ability in trees of this breed growing in different functional zones of the city is given. The individual phenotypic variability of the studied parameters of the accounting trees is shown and the differences in them associated with placement on sites characterized by unequal levels of anthropogenic pollution are determined. The physical mass of dust washed off from one test sample with a fixed area of its leaf surface varied from 0.01 ± 0.001 g to 0.04 ± 0.003 g. The dust retention capacity took values from $148.48 \pm 22,809$ mg/m² to $490 \pm 39,300$ mg/m². The conclusion is made about the ability of the prickly spruce to form a well-developed leaf apparatus in the conditions of landscaping facilities in Nizhny Novgorod, the power of which is sufficient for the effective performance of its performance by trees that have reached the reproductive phase of ontogenesis, dust-retaining function.

Key words: prickly spruce, reproductively mature trees, growth, development, parameters of needles, dust-retaining ability, variability.

БЕССЧЕТНОВА Наталья Николаевна – декан факультета лесного хозяйства Нижегородского государственного агротехнологического университета, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ResearcherID (WoS): H-1343-2019, ORCID 0000-0002-7140-8797; SPIN-код: 6214-7263.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: besschetnova1966@mail.ru.

BESSHETNOVA Natalya N. – DSc (Agricultural), Dean of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Associate Professor, ResearcherID (WoS): H-1343-2019, ORCID 0000-0002-7140-8797; SPIN-code: 6214-7263.

603107. Gagarina av. 97. Nizhny Novgorod. Russia. E-mail: besschetnova1966@mail.ru.

БЕССЧЕТНОВ Владимир Петрович – заведующий кафедрой лесных культур Нижегородского государственного агротехнологического университета, доктор биологических наук, профессор. ResearcherID (WoS): S-5889-2016, ORCID: 0000-0001-5024-7464, SPIN-код: 2031-5241.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: lesfak@mail.ru.

BESSHETNOV Vladimir P. – DSc (Biological), Head of the Department of Forest Plantations of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Professor. ResearcherID (WoS): S-5889-2016, ORCID: 0000-0001-5024-7464, SPIN-code: 2031-5241.

603107. Gagarina av. 97. Nizhny Novgorod. Russia. E-mail: lesfak@mail.ru.

ПАНИКАРОВ Иван Игоревич – магистрант кафедры лесных культур Нижегородского государственного агротехнологического университета.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: foresters2012@mail.ru.

PANIKAROV Ivan I. – Master's student of the Department of Forest Plantations of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy.

603107. Gagarina av. 97. Nizhny Novgorod. Russia. E-mail: foresters2012@mail.ru.