

Научная статья

УДК 574.2

doi: 10.34655/bgsha.2026.82.1.012

Сравнительный анализ морфометрических показателей листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей в условиях города Уфы

Л.М. Ишбирдина¹, С.И. Муфтахова¹, М.В. Мартынова^{1,2} С.И. Гарфутдинова¹,
А.О. Султаньярова¹

¹Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

²Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку: Мартынова Мария Викторовна,
maaarussia@mail.ru

Аннотация. В работе выполнен сравнительный анализ морфометрических показателей листьев березы повислой, произрастающей в условиях городской среды. В целях биоиндикации проведен морфометрический анализ листьев березы повислой на территории средней школы и парка им. М. Гафури. С 11 модельных деревьев на каждом исследуемом участке было собрано по 30 листьев с нижней части кроны. Всего проанализировано 664 листа, по которым измеряли длину и ширину листовая пластинки, длину черешка и вычисляли площадь листа. Установлены достоверные различия ($p < 0,05$) по всем исследуемым морфометрическим показателям между выборками. Листья березы на территории школы имели существенно меньшие размеры по сравнению с контрольной группой: длина была меньше на 16,2 %, ширина – на 21,7 %, площадь листовая пластинки – на 34,2 %. Длина черешка различалась в меньшей степени (на 6,4%). Выявлено, что расположение территории средней школы № 64 между двумя самыми загруженными транспортными магистралями города Уфы на расстоянии от них, примерно, 100 метров на запад и восток, значительно сказывается на атмосферном загрязнении объекта, об этом свидетельствует сравнительное отставание морфометрических параметров листьев березы повислой по сравнению с парковой территорией. Исследование подтвердило высокую чувствительность морфометрических параметров листьев березы к загрязнению атмосферного воздуха и возможность их использования для биоиндикационного мониторинга состояния городской среды. Полученные данные свидетельствуют о выраженном техногенном стрессе у деревьев, выполняющих фильтрующую функцию в непосредственной близости от автодорог.

Ключевые слова: сравнительный анализ; береза повислая; городская среда; морфометрические показатели; листовая пластина.

Original article

Comparative analysis of morphometric parameters of birch leaves (*Betula pendula* Roth) growing in the city of Ufa

Lilia M. Ishbirdina¹, Svetlana I. Muftakhova¹, Maria V. Martynova^{1,2},
Sabrina I. Garfutdinova¹, Aisylu O. Sultanyarova¹

¹Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

²Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Corresponding author: Maria V. Martynova, maaarusssia@mail.ru

Abstract. The article presents a comparative analysis of morphometric parameters of birch leaves growing in an urban environment. For the purpose of bioindication, a morphometric analysis of birch leaves was carried out on the territory of a secondary school and a park named after M. Gafuri. 30 leaves from the lower part of the crown were collected from 11 model trees in each study area. 664 leaves were analyzed, from which the length and width of the leaf blade, the length of the petiole, and the leaf area were measured. Significant differences ($p < 0.05$) were found for all morphometric parameters studied between the samples. Birch leaves picked from the school area were significantly smaller than those that were from the control group: the length was 16.2% shorter, the width was 21.7% smaller, and the area of the leaf blade was 34.2% smaller. The length of the petiole differed to a lesser extent (by 6.4%). It was found out that the territory of the secondary school No. 64 that is located between the two busiest transport highways in the Ufa city, at a distance of about 100 meters to the west and to the east of them, is significantly affected by the atmospheric pollution, as evidenced by the comparative lag in the morphometric parameters of birch leaves compared with the leaves picked from the park area. The study confirmed the high sensitivity of the morphometric parameters of birch leaves to atmospheric air pollution and the possibility of their use for bioindication monitoring of the urban environment. The data obtained indicate a pronounced anthropogenic stress in trees performing a filtering function in the immediate vicinity of highways.

Keywords: comparative analysis; silver birch; urban environment; morphometric parameters; leaf blade.

Введение. Деревья в городских условиях эффективно борются с загрязнением окружающей среды, поглощая и нейтрализуя атмосферные токсичные вещества [1, 2]. Однако этот процесс вызывает у растений стресс, что в конечном итоге приводит к ухудшению их состояния, сокращению продолжительности жизни и преждевременному отмиранию [3]. В урбанистической среде древесно-кустарниковые виды функционируют как эффективные фитофилтраты. Они осуществляют очистку воздуха от вредных веществ посредством механического задержания твердых частиц, а также частичного поглощения и нейтрализации токсичных соединений [4, 5]. Важными морфометрическими характеристиками, указывающими на состояние древесных видов, являются длина и ширина листовой пластины.

Эти параметры способны отражать воздействие разнообразных факторов окружающей среды [6, 7].

Биоиндикационные исследования играют ключевую роль в системе экологического мониторинга. Девиации в развитии организмов служат индикаторами неблагоприятных условий окружающей среды, препятствующих нормальному росту и развитию [8, 9]. Береза повислая (*Betula pendula* Roth) – широко распространенный древесный вид в умеренных регионах Евразии. Этот вид играет существенную роль в экосистемах, функционируя как в качестве древесного, так и декоративного растения.

Листья березы, отличающиеся характерной формой и структурой, выполняют ключевую функцию в процессах фотосинтеза, обеспечивая жизнедеятельность

дерева. Морфометрические характеристики листьев березы, к которым относятся размер, форма, окраска и толщина, проявляют значительную вариабельность в зависимости от воздействующих экологических факторов. К ним относятся климатические условия, тип почвы и интенсивность освещения. Исследование этих параметров позволяет не только глубже проникнуть в понимание адаптационных механизмов березы к окружающей среде, но и оценить состояние популяций в контексте изменяющихся климатических условий и антропогенного воздействия. В силу своей высокой чувствительности к изменениям в окружающей среде береза признана ценным индикатором экологического состояния, что делает ее подходящим объектом для биоиндикационных исследований [10, 11].

В условиях ухудшения экологической обстановки наблюдается тенденция к уменьшению размера листьев растений. Согласно официальным данным, наиболее распространёнными загрязнителями атмосферного воздуха в городских условиях являются взвешенные частицы, оксиды азота, углерода и серы, а также углеводороды, такие как фенол и фор-

мальдегид. Проникновение этих компонентов в листовую ткань приводит к нарушению биохимических процессов, снижению интенсивности фотосинтеза и синтеза органического вещества в период роста. Данные факторы обуславливают уменьшение размеров ассимилирующих органов растений [12].

Целью исследования является сравнительный анализ морфометрических показателей листьев березы повислой для выявления закономерности их изменения в зависимости от условий произрастания.

Объектом исследований явились зеленые насаждения на территории средней школы № 64 г. Уфы, в частности выборочные деревья березы повислой. Территория средней школы находится между двумя крупными наиболее загруженными транспортом улицами города Уфы – проспектом Октября (145 м от школы до пр. Октября) и ул. Российской (72 м) (рис. 1 (а)). Изучаемый объект испытывает сильное техногенное влияние с западной и восточной стороны территории.

В качестве контрольного участка выбраны насаждения березы в парке имени М. Гафури (рис. 1 (б)).



Рисунок 1. Местоположение исследуемых объектов

Материалы и методы исследования. Исследование насаждений проводилось комплексно, с применением различных методических подходов и методов оценки лесных ресурсов. В ходе работ была осуществлена подробная инвентаризация [13]. На территории школы и в парке им. М. Гафури (контроль, 400 м от пр. Октября) выбрано по 11 деревьев, с которых в сентябре 2023 было собрано по 30 листьев с каждого дерева. Листья собраны из нижней части кроны дерева с максимального количества доступных веток с четырех сторон света. Для определения экологической ситуации на территории средней школы № 64 были проведены морфометрические обследования листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth).

У каждого листа измерялась ширина листовой пластинки в самом широком месте, длина листовой пластинки и длина

черешка.

Всего было измерено 332 листа с 11 деревьев березы повислой на территории школы № 64 и 332 листа с 11 деревьев на территории парка им. М. Гафури. Полученные данные были проанализированы. Вычислялась площадь листовой пластинки с применением переводного коэффициента, среднее значение площади листовой пластинки, длины, ширины листа и длины черенка для каждого дерева отдельно и для выборки школы и парка в целом.

Статистическая обработка выполнена с использованием пакетов прикладных программ Statistica 6.0 и Microsoft Excel.

Результаты исследования. Измерения длины листовой пластинки березы повислой показало, что листья на территории школы имеют меньшую длину (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1 – Средняя длина листовой пластинки березы повислой на территории средней школы № 64 и в парке им. М. Гафури

№ дерева	Территория школы № 64					Территория парка им. М.Гафури				
	средняя длина листа, мм	ст. откл	КВ, %	Дисперсия	ошибка репрезентативности	средняя длина листа, мм	ст. откл.	КВ, %	Дисперсия	ошибка репрезентативности
1	46,37±4,4	3,91	8,00	15,31	9,5	58,26±6,06	2,73	5,00%	7,44	10,4
2	34,38±4,44	4,31	9,00	18,55	9,48	56,32±5,78	2,33	4,00%	5,41	10,27
3	47,09±4,23	4,68	10,00	21,89	8,98	55,99±5,46	2,43	4,00%	5,92	9,75
4	47,96±4,6	5,41	11,00	29,32	9,59	56,33±5,73	2,29	4,00%	5,27	10,17
5	48,85±5,02	4,68	10,00	21,94	10,28	56,87±5,79	3,02	5,00%	9,11	10,18
6	47,24±4,47	4,93	10,00	24,32	9,47	56,9±5,7	2,25	4,00%	5,05	10,02
7	48,33±5,01	4,69	10,00	22	10,37	56,55±5,74	2,29	4,00%	5,24	10,16
8	47,49±4,23	5,34	11,00	28,49	8,9	56,15±5,85	2,26	4,00%	5,12	10,41
9	46,03±4,41	3,81	8,00	14,52	9,56	55,94±5,85	2,12	4,00%	4,51	10,46
10	48,71±4,68	5,01	10,00	25,09	9,61	56,91±5,76	3,35	6,00%	11,22	10,13
11	46,75±4,65	4,4	9,00	19,38	9,95	56,5±5,57	2,95	5,00%	8,7	9,85
ген. сов.	47,42±4,69	0,26	10,00	22,04	0,54	56,61±2,61	0,14	5,00%	6,81	0,25

При этом ошибка репрезентативности по каждому дереву отдельно довольно велика, но по генеральной совокупности листьев на территории школы и парка

она значительно меньше доверительного порога. Средняя длина листа в парке в 1,2 раза больше средней длины листа в школе, или средняя длина листьев в шко-

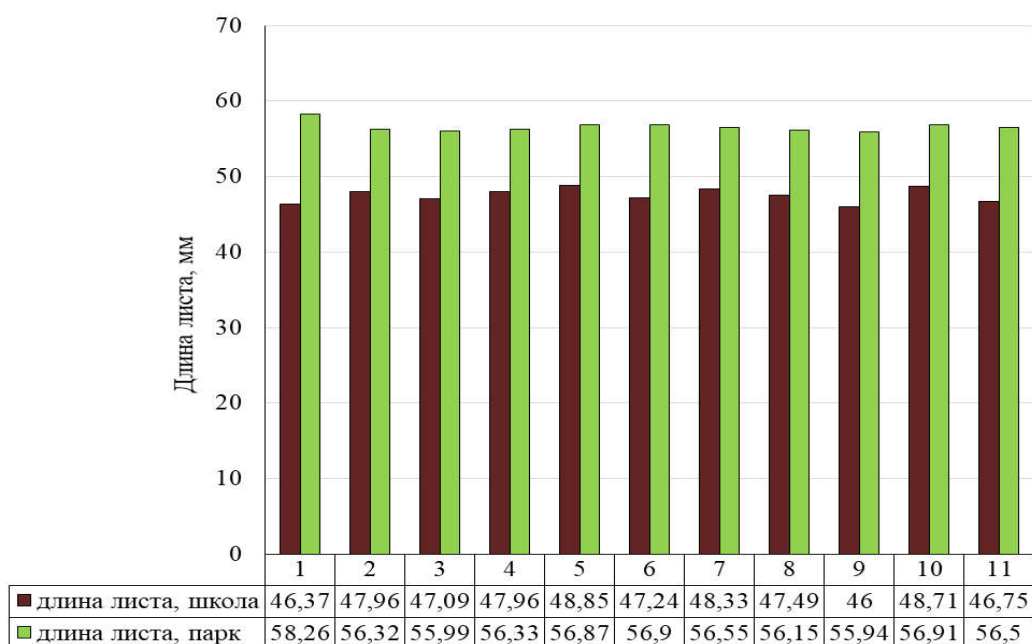


Рисунок 2. Длина листа по обследованным деревьям березы повислой

ле на 16,24 % меньше длины листьев в парке. Т-критерий Стьюдента равен 2,84 (доверительный интервал – 0,95, табличные значения – 1,97), то есть различия между двумя выборками достоверны.

Средняя ширина листовой пластинки березы также оказалась значительно меньше на территории школы, по сравнению с территорией парка (табл. 2, рис. 3).

Средняя ширина листа в парке в 1,3 раза больше средней ширины листа в школе, или средняя ширина листьев в школе на 21,67 % меньше длины листьев в парке. Т-критерий Стьюдента равен 3,41 (доверительный интервал 0,95, табличные значения 1,97), то есть различия между двумя выборками достоверны.

Таблица 2 – Средняя ширина листовой пластинки березы повислой на территории средней школы № 64 и в парке им. М. Гафури

№ дерева	Территория школы № 64					Территория парка им. М. Гафури				
	средняя ширина листа, мм	СТ. ОТКЛ	КВ, %	дисперсия	ошибка репрезентативность	средняя ширина листа, мм	СТ. ОТКЛ	КВ, %	дисперсия	ошибка репрезентативность
1	34,37±3,31	3,29	10,00	10,82	9,63	44,45±4,18	2,97	7,00	8,82	9,39
2	34,78±3,45	2,17	6,00	4,73	9,92	44,16±4,21	2,69	6,00	7,23	9,53
3	34,38±3,59	1,74	5,00	3,03	10,43	44,17±4,14	2,99	7,00	8,92	9,37
4	34,46±3,48	1,68	5,00	2,81	10,11	43,91±4,18	2,92	7,00	8,54	9,51
5	35,19±3,39	2,9	8,00	8,39	9,64	43,86±4,12	3,01	7,00	9,06	9,39
6	34,06±3,48	2,02	6,00	4,07	10,23	44,25±4,65	3,09	7,00	9,56	10,51
7	34,23±3,61	2,06	6,00	4,24	10,55	45,26±4,35	2,88	6,00	8,27	9,62
8	34,32±3,35	1,9	6,00	3,62	9,76	43,73±4,19	2,67	6,00	7,13	9,59
9	34,66±3,29	2,62	8,00	6,85	9,5	44,23±4,18	2,8	6,00	7,85	9,45
10	34,94±3,72	3,11	9,00	9,64	10,64	43,19±4,14	2,82	7,00	7,93	9,59
11	34,76±3,36	2,83	8,00	8,03	9,67	44,06±4,4	2,83	6,00	8,01	9,98
Генеральная совокупность	34,56±0,13	2,44	7,00	5,94	0,39	44,12±0,16	2,88	7,00	8,28	0,36

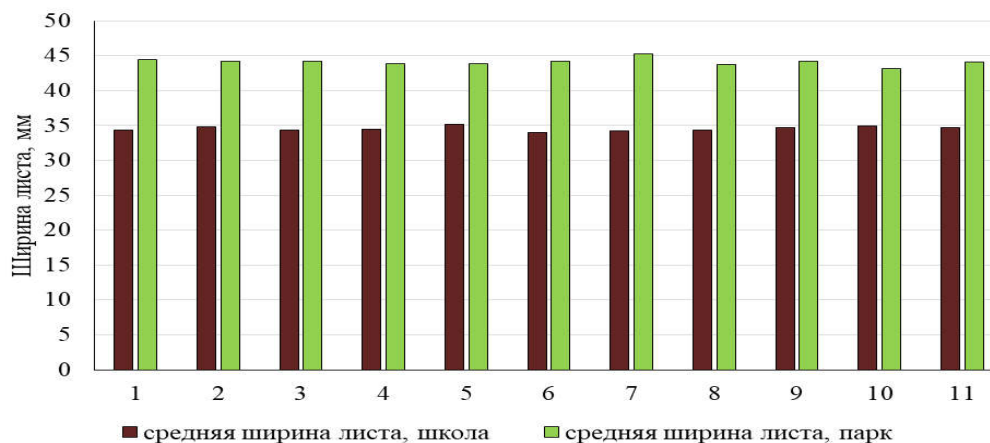


Рисунок 3. Средняя ширина листа по обследованным деревьям березы повислой

Средняя длина черешка листа березы повислой на территории школы меньше аналогичных значений на территории парка (табл. 3, рис. 4).

Таблица 3 – Средняя длина черешка листа березы повислой на территории средней школы № 64 и в парке им. М. Гафури

№ дерева	Территория школы № 64					Территория парка им. М. Гафури				
	средняя длина черешка, мм	СТ. ОТКЛ	КВ, %	дисперсия	ошибка репрезентативности	средняя длина черешка, мм	СТ. ОТКЛ	КВ, %	дисперсия	ошибка репрезентативности
1	25,75±2,41	1,71	7,00	2,93	9,34	28,39±0	1,91	7,00	3,66	10,18
2	25,59±2,48	1,95	8,00	3,79	9,7	27,45±0	2,35	9,00	5,51	10,03
3	25,48±2,65	2,04	8,00	4,15	10,4	26,97±0	2,27	8,00	5,16	9,86
4	25,69±2,59	1,8	7,00	3,22	10,08	26,88±0	2,08	8,00	4,32	9,12
5	25,68±2,45	1,97	8,00	3,87	9,54	27,26±0	2,28	8,00	5,18	9,26
6	25,98±2,51	1,67	6,00	2,8	9,67	27,19±0	2,21	8,00	4,9	9,29
7	25,72±2,6	2,07	8,00	4,29	10,1	28,1±0	2,2	8,00	4,86	10,13
8	24,99±2,47	1,58	6,00	2,51	9,87	27,13±0	2,05	8,00	4,22	9,53
9	25,44±2,54	1,49	6,00	2,22	9,98	26,77±0	2,41	9,00	5,82	9,58
10	25,67±2,62	1,69	7,00	2,87	10,2	27,54±0	2,28	8,00	5,19	10,33
11	25,47±2,4	1,89	7,00	3,58	9,43	27,03±0	2,29	8,00	5,23	9,12
Генеральная совокупность	25,59±0,1	1,8	7,00	3,25	0,39	27,34±0,12	2,24	8,00	5	0,45

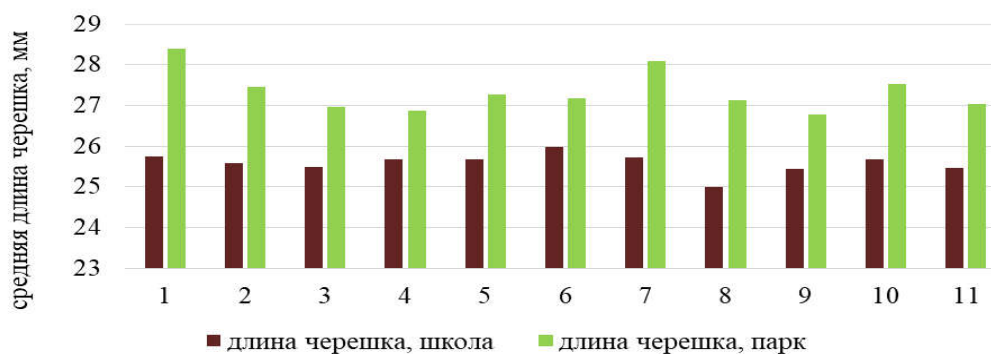


Рисунок 4. Средняя длина черешка листа по обследованным деревьям березы повислой

Средняя длина черешка листа в парке в 1,07 раза больше средней длины черешка листа в школе, или средняя длина черешка листьев в школе на 6,4 % меньше длины листьев в парке. Т-критерий Стьюдента равен 3,08 (доверительный интервал – 0,95, табличные значения –

1,97), т.е различия между двумя выборками достоверны.

Средняя площадь листовой пластинки березы повислой также оказалась значительно меньше на территории школы, по сравнению с территорией парка (табл. 4, рис. 5).

Таблица 4 – Средняя площадь листовой пластинки березы повислой на территории средней школы № 64 и в парке им. М. Гафури

№ дерева	Территория школы № 64				Территория парка им. М.Гафури			
	средняя площадь листа, мм ²	СТ. ОТКЛ	КВ, %	ошибка репрезентативности	средняя площадь листа, мм ²	СТ. ОТКЛ	КВ, %	ошибка репрезентативности
1	1021,09±26,22	1,71	0,20	2,57	1657,34±24,55	134,49	8,00	1,48
2	1043,27±23,07	1,95	0,20	2,21	1592,54±22,95	125,68	8,00	1,44
3	1037,39±23,38	2,04	0,20	2,25	1582,08±21,48	117,64	7,00	1,36
4	1059,27±25,91	1,8	0,20	2,45	1582,95±22,18	121,5	8,00	1,4
5	1102,34±28,53	1,97	0,20	2,59	1595,54±23,96	131,23	8,00	1,5
6	1030,21±23,29	1,67	0,20	2,26	1611,29±23,38	128,03	8,00	1,45
7	1061,83±26,97	2,07	0,20	2,54	1638,38±22,83	125,02	8,00	1,39
8	1044,23±25,69	1,58	0,20	2,46	1571,18±20,06	109,9	7,00	1,28
9	1020,92±21,98	1,49	0,10	2,15	1583,68±22,07	120,9	8,00	1,39
10	1091,15±30,11	1,69	0,20	2,76	1573,05±25,81	141,36	9,00	1,64
11	1043,74±29,02	1,89	0,20	2,78	1591,96±20,96	114,82	7,00	1,32
Генеральная совокупность	1050,49±7,83	142,28	14,00	0,75	1598,18±6,92	125,71	8,00	0,43

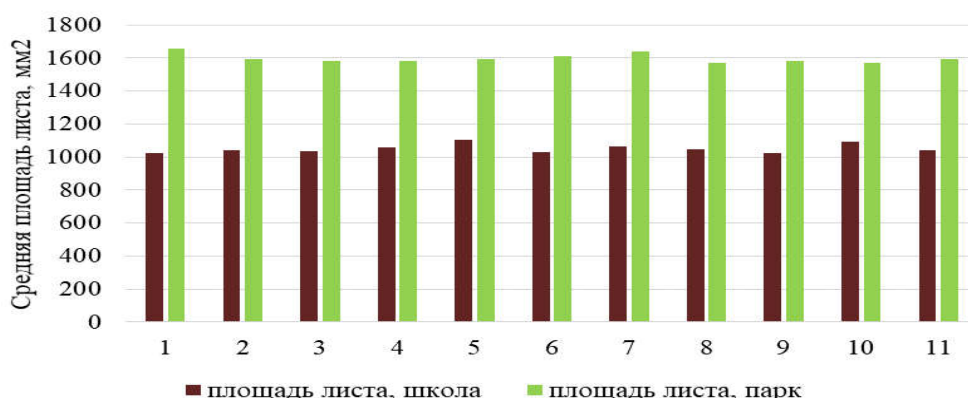


Рисунок 5. Средняя площадь листа по обследованным деревьям березы повислой

Средняя площадь листа в парке в 1,5 раза больше средней площади листа в школе, или средняя площадь листьев в школе на 34,2 % меньше площади листь-

ев в парке. Т-критерий Стьюдента равен 2,52 (доверительный интервал – 0,95, табличные значения – 1,97), т.е. различия между двумя выборками достоверны.

Почва для растений является средой обитания и источником питательных веществ, а растения, в свою очередь, формируют ее химический состав. Поэтому жизнедеятельность растений очень сильно зависит от веществ, присутствующих в

почве. Одним из важных факторов является кислотность среды. Результаты анализа проведены на основе образца, взятого с участка гимназии № 64 (табл. 5) и литературным данным [15].

Таблица 5 – Результаты анализа почвы

Объект	Влага гигроскопическая, %	Общее содержание органич. вещ-ва, % на СВ	pH сол.	N-NH ₄ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг
Территория школы № 64	2,8	12,0	6,9	17,7	273,2
Территория парка им. М. Гафури		5,6	6 -6,6	15,5	88

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что содержание органического вещества на высоком уровне, свыше 6 %, кислотность нейтральная, по содержанию аммонийного азота – очень высокое, содержание подвижного фосфора – высокое. Высокое содержание соединений фосфора в субстрате (урбаноземе) на территории школы может быть вызвано антропогенным зафосфачиванием, которое снижает доступность растениям калия, железа, цинка, меди и других важнейших элементов питания и отрицательно сказывается на состоянии почвенной биоты.

Антропогенное зафосфачивание почв в городах вызвано следующими факторами:

- выбросы, обогащённые крупнопылеватыми фракциями с высоким содержанием фосфатов;

- поступление соединений фосфора на поверхность почв из промышленных и твёрдых бытовых отходов [14,15].

Выводы. Проведенное исследование показало, что экологическая ситуация на территории средней школы значительно отличается от ситуации на парковых территориях города Уфы. Наименьшее различие среди изученных морфометрических параметров выявлено в длине черешков листьев березы повислой (всего в 6,4 %), а наибольшее различие отмечено при сравнении площади листовой пластинки. Так, на территории средней школы № 64 площадь листовых пластинок бере-

зы повислой на 34,2 % меньше, чем на территории парка им. М. Гафури, при этом объекты исследования расположены всего на расстоянии 1,9 км друг от друга по прямой.

Среди наиболее распространенных загрязнителей городского воздуха выделяются взвешенные частицы, оксиды азота, углерода и серы, а также углеводороды (фенол, формальдегид и др.). Данные вещества оказывают негативное воздействие на биохимические процессы в растениях, снижают эффективность фотосинтеза и синтеза органических соединений в период роста. В результате наблюдается уменьшение размеров ассимилирующих органов березы повислой. Несмотря на то, что древесные растения способны поглощать и нейтрализовать атмосферные токсиканты, тем самым снижая уровень загрязнения окружающей среды, сам процесс поглощения загрязняющих веществ вызывает у них стресс. Это приводит к ухудшению общего состояния растений и уменьшению размеров ассимилирующих органов. Вероятно, дополнительный фактор риска – высокое содержание фосфора в почве.

Расположение средней школы № 64 в непосредственной близости от интенсивных транспортных потоков города Уфы, а именно на расстоянии приблизительно 100 метров от двух главных магистралей, оказывает негативное влияние на экологическое состояние территории учебного

заведения. Это подтверждается наблюдениями за морфометрическими характеристиками листьев березы повислой, произрастающей на школьном участке, кото-

рые демонстрируют отставание в развитии по сравнению с деревьями, расположенными в более благоприятных условиях городской парковой зоны.

Список источников

1. Маметова К.К. О важных перспективах и функциях древесно-кустарниковых насаждений, используемых в благоустройстве и озеленении города Ош // Известия Ошского технологического университета. 2020. №1. С. 213-222. EDN: NCBXJW
2. Юртай Т.Т. Пылеудерживающие свойства древесных и кустарниковых пород города Семей // Молодой ученый. 2022. № 7 (402). С. 60-63. EDN: MAABEQ
3. Биологические особенности декоративных зеленых насаждений для озеленения урбоэкосистемы (на примере г. Бишкека) / К. Уметалиева, Б.Н. Шамшиев, А.Т. Жумадылов, И.К. Купсуралиева, Темиркул кызы К. // Исследование живой природы Кыргызстана. 2022. № 2. С. 13-16. DOI: 10.33619/2414-2948/105/14. EDN: EFRZSI
4. Бунькова Н.П., Абраменко В.В. Оценка качества среды в городском лесопарке методом флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Леса России и хозяйство в них. 2020. № 1 (72). С. 54–64. EDN: VHYYUJ
5. Шамшиев Б.Н., Абсатаров Р.Р., Маметова К.К. Анализ видового состава древесно-кустарниковых пород, их роль в структуре городских парков г. Ош // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №8. С. 123–139. DOI: 10.33619/2414-2948/105/14. EDN: JWVGDR
6. Галимов Р.Р., Уразбахтин А.А., Уразгильдин Р.В. Сравнительная характеристика морфологических параметров листьев и побегов березы повислой при различных типах загрязнения в условиях Южно-Уральского региона // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4 (91). С. 94–105. DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.010. EDN: CWGADX
7. Завьялов К.Е., Меншиков С.Л., Мохначев П.Е., Кузьмина Н.А. Влияние аэротехногенных выбросов магнетитового производства на надземную фитомассу *Betula pendula* Roth. в зависимости от плодородия почвы // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2023. Т. 27. №2. С. 104-111. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-104-111. EDN: VORBPX
8. Клевцова М.А., Михеев А.А. Изменение морфометрических параметров листовых пластинок *Populus italica* (Du Roi) Moench под влиянием эмиссии загрязняющих веществ промышленных предприятий // Региональные геосистемы. 2021;45(4):558–575. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-558-575. EDN: OXPXMB
9. Daniels B., Zaunbrecher B.S., Paas B., Ottermanns R., Zieffle M., Roß-Nickoll M. Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 615. Pp. 1364–1378. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.09.167
10. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методическое пособие для заповедников / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов [и др.]. Москва: Центр экологической политики России, 2000. 66 с. ISBN 5-93692-020-8
11. Клевцова М.А. Создание тематической геоинформационной системы «Городская биота» / Этапы, методики, критерии оценки // Региональная экологическая диагностика состояния воздушной среды промышленных городов, Воронеж, 2020. С. 148-161. EDN: XBVJCP
12. Wróblewska K., Jeong B.R. Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal. Environ Sci Eur 33, 110 (2021). DOI: 10.1186/s12302-021-00547-2
13. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений (утв. Минстроем РФ в 1997 г.)
14. Кулик К.Н., Исаков А.С., Новочадов В.В. Новые возможности анализа листовых пластинок деревьев-биоиндикаторов в оценке состояния окружающей среды в условиях аридной зоны // Известия НВ АУК. 2021. 1 (61). 25-36. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-02. EDN: OGVVGA
15. Churagulova Z.S., Sultanova R.R., Mingazheva A.M. About the condition of the soils and vegetation of urbanized territories of Ufa city // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2019;(150):128-136. DOI: 10.36305/2019-1-150-128-136

References

1. Mametova K.K. About the important prospects and functions of tree and shrub plantations used in the improvement and landscaping of the city of Osh. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2020;1:213-222 (In Russ.)
2. Yurtay T.T. Pyleuderzhivayushchiye svoystva drevesnykh i kustarnikovykh porod goroda Semey. *Molodoy uchenyy*. 2022;7(402):60-63 (In Russ.)
3. Umetaliyeva K., Shamshiyev B.N., Zhumadylov A.T., Kupsuraliyeva I.K., Temirkul kyzy K. Biological features of decorative green plants for landscaping of urban ecosystem (on the example of Bishkek). *Issledovaniye zhivoy prirody Kyrgyzstana*. 2022;2:13-16 (In Russ.). DOI: 10.33619/2414-2948/105/14.
4. Bunkova N.P., Abramenko V.V. Assessment of the quality of the environment in an urban forest park

using the fluctuating asymmetry of birch leaves (*Betula pendula* Roth.). *Forests of Russia and economy in them*. 2020;1(72):54–64 (In Russ.)

5. Shamshiyev B.N., Absatarov R.R., Mametova K.K. Analysis of the species composition of wood and shrubs species, their role in the structure of city parks of Osh. *Bulletin of science and practice*. 2024;Vol.10, No8:123–139 (In Russ.). DOI: 10.33619/2414-2948/105/14.

6. Galimov R.R., Urazbakhtin A.A., Urazgildin R.V. Comparative characteristics of morphological parameters of birch leaves and shoots under different types of pollution in the conditions of the South Ural region. *Forests of Russia and economy in them*. 2024;4(91):94–105 (In Russ.)

7. Zavyalov K.E., Menshikov S.L., Mokhnachev P.E., Kuzmina N.A. Magnesite production aerotechnogenic emissions impact on the elevated phytomass *Betula pendula* Roth depending on soil fertility. *Lesnoy vestnik=Forestry Bulletin*. 2023;Vol.27, No2:104–111 (In Russ.). DOI: 10.18698/2542-1468-2023-104-111.

8. Klevtsova M.A., Mikheev A.A. The Change in the Morphometric Parameters of Leaves *Populus italica* (Du Roi) Moench Under the Influence of Emissions of Pollutants of Industrial Enterprises. *Regional geosystems*. 2021;Vol.45, No4:558–575 (In Russ.). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-558-575.

9. Daniels B., Zaunbrecher B.S., Paas B., Ottermanns R., Ziefle M., Roß-Nickoll M. Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective. *Science of The Total Environment*. 2018; Vol. 615: 1364–1378. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.167

10. Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I. [et al.]. Environmental Health: Assessment Methodology. Assessment of the State of Natural Populations Based on Development Stability: A Methodological Guide for Nature Reserves. Moscow: Center for Environmental Policy of Russia, 2000. 66 p. (In Russ.)

11. Klevtsova M.A. Creation of a Thematic Geoinformation System “Urban Biota” / Stages, Methodologies, Assessment Criteria. *Regional Environmental Diagnostics of the State of the Air Environment in Industrial Cities*, Voronezh, 2020. Pp. 148-161 (In Russ.)

12. Wróblewska K., Jeong B.R. Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal. *Environ Sci Eur* 33. 110 (2021). DOI:10.1186/s12302-021-00547-2

13. Methodology for inventory of urban green spaces (approved by the Ministry of Construction of the Russian Federation in 1997)

14. Kulik K.N., Isakov A.S., Novochadov V.V. Leaf blades of bioindicator trees: new possibilities for analysis in the assessment of the environmental state in the conditions of the arid zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2021; 1(61):25-36 (In Russ.). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-02.

15. Churagulova Z.S., Sultanova R.R., Mingazheva A.M. About the condition of the soils and vegetation of urbanized territories of Ufa city. *Plant Biology and Horticulture: theory. innovation*. 2019;(150):128-136. DOI:10.36305/2019-1-150-128-136

Сведения об авторах

Лилия Маратовна Ишбирдина – кандидат биологических наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, Башкирский государственный аграрный университет, butomus11@yandex.ru;

Светлана Ильдаровна Муфтахова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, Башкирский государственный аграрный университет, muftakhova_s@mail.ru;

Мария Викторовна Мартынова – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, Башкирский государственный аграрный университет; профессор кафедры биологии и экологии, Уфимский университет науки и технологий, maaarusssia@mail.ru;

Сабрина Исфаровна Гарфутдинова – соискатель кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, Башкирский государственный аграрный университет, sabrina.shatskaya@yandex.ru;

Айсылу Олеговна Султанырова – ассистент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, Башкирский государственный аграрный университет, zamdefzo@mail.ru

Information about the authors

Lilia M. Ishbirdina – Candidate of Science (Biology), Associate Professor, Chair of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University, butomus11@yandex.ru;

Svetlana I. Muftakhova – Candidate of Science (Agriculture), Associate Professor, Chair of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University, muftakhova_s@mail.ru;

Maria V. Martynova – Doctor of Science (Agriculture), Associate Professor, Associate Professor, Chair of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University; Professor, Chair of Biology and Ecology, Ufa University of Science and Technology, maaarusssia@mail.ru;

Sabrina I. Garfutdinova – Applicant, Chair of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University, sabrina.shatskaya@yandex.ru;

Aisylu O. Sultanyarova – Assistant Professor, Chair of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University, zamdefzo@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 11.12.2025; одобрена после рецензирования 22.01.2026; принята к публикации 10.02.2026.

The article was submitted 11.12.2025; approved after reviewing 22.01.2026; accepted for publication 10.02.2026.