

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2026. № 2 (83). С. 111–119.

Buryat Agrarian Journal. 2026;2(83):111–119.

Научная статья

УДК 630*164.5: 630*181: 582.09

doi: 10.34655/bgsha.2026.83.2.013

**Сезонная динамика и изменчивость индекса азотного баланса
в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth)
в условиях промышленного загрязнения**

Олеся Васильевна Тагирова

Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение
ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии
наук, Уфа, Россия
olecyi@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований по сезонной динамике индекса азотного баланса (ИАБ) в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей в условиях промышленного загрязнения. Цель работы – изучить сезонную динамику и характер изменений индекса азотного баланса в листьях березы с учетом формового разнообразия в условиях загрязнения окружающей среды на территории Уфимского промышленного центра (УПЦ). Объектом исследования является береза повислая, которая характеризуется широким ареалом распространения, в том числе и способностью успешно произрастать в различных экологических условиях. Исследования проведены в пределах УПЦ на постоянных пробных площадях на маркированных листьях модельных деревьев березы в течение вегетационного периода 2022 года (характеризуется средними многолетними климатическими показателями). В течение июня – сентября были произведены измерения ИАБ в листьях (1882 измерения) с использованием портативного прибора «Dualox Scientific+». Впервые показано, что на территории промышленной зоны показатель среднего значения ИАБ в листьях березы (с июня по сентябрь) выше у дерева мелколистной формы. ИАБ в листьях у дерева среднелистной формы выше в вершине листа, а у дерева мелколистной формы несколько выше в основании листа. Показано, что в промышленной зоне УПЦ с выраженным углеводородным типом загрязнения окружающей среды у березы среднелистной и мелколистной формы на абаксиальной стороне листьев ИАБ достоверно более высокий по сравнению с адаксиальной стороной листьев. Выявлен адаптивный характер изменений соотношения хлорофиллов и флавонолов в листьях: сезонные изменения ИАБ согласуются с пролонгированным ростом побегов и листьев в условиях нефтехимического загрязнения и повреждаемостью верхушечной и периферийной частью листьев токсикантами.

Ключевые слова: промышленный центр, береза повислая, модельные деревья, маркированные листья, индекс азотного баланса, сезонная динамика.

Благодарности. В работе использована приборная база Центра коллективного пользования «Агидель» УФИЦ РАН.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00570-24-01 по теме № 123020700152-5 «Устойчивость лесообразующих древесных видов и эколого-биологические адаптации с учетом антропогенной трансформации ландшафтно-природных комплексов».

Seasonal dynamics and variability of the nitrogen balance index in silver birch (*Betula pendula* Roth) leaves under industrial pollution

Olesya V. Tagirova

Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russia
olecyi@mail.ru

Abstract: The results of researches on the seasonal dynamics of the nitrogen balance index (NBI) in the leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) growing under conditions of industrial pollution are presented. The aim of the research was to study the seasonal dynamics and nature of changes in the NBI in silver birch leaves, considering their forms diversity, under conditions of environmental pollution in the Ufa Industrial Center (UIC). The object of the study was silver birch, which is characterized by a wide distribution area, including the ability to grow successfully under various environmental conditions. The study was conducted within the UIC on the permanent test areas using marked leaves of the model birch trees during the 2022 growing season (characterized by average long-term climatic parameters). During the period of June-July-August-September, NBI measurements were taken in leaves (1882 measurements) using a portable device «Dualox Scientific+». For the first time, it has been shown that within an industrial zone, the average NBI value in birch leaves (from June to September) is higher with small-leaved trees. The NBI in the leaves of a medium-leaved tree is higher at the top of the leaf, and in a small-leaved tree it is slightly higher at the base of the leaf. It was marked that in the industrial zone of the UIC with pronounced hydrocarbon pollution, the NBI of medium- and small-leaved birches on the abaxial side of leaves is significantly higher than that on the adaxial side. An adaptive nature of changes in the chlorophyll-to-flavonol ratio in leaves was found: seasonal changes in NBI are consistent with prolonged shoots and leaves growth under petrochemical pollution and damage of the apical and peripheral parts of leaves by toxicants.

Keywords: industrial center, silver birch, model trees, marked leaves, nitrogen balance index, seasonal dynamics.

Acknowledgments. In the work the instrumental base of the Agidel Collective Use Center of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences was used.

Financing. The work was performed within the framework of the state task No. 075-00570-24-01 on the topic No. 123020700152-5 "Sustainability of forest-forming tree species and ecological and biological adaptations considering anthropogenic transformation of landscape and natural complexes".

Введение. Известно, что растения в процессе роста и развития при обмене веществ осуществляют синтез азотсодержащих молекул, однако при недостатке азота растения направляют свой метаболизм на увеличение синтеза флавоноидов [1, 2]. Листья растений реагируют на внешние изменения условий произрастания (свет, температура, влажность воздуха, воздействие загрязняющих веществ, пылевых частиц и др.) [3 - 5].

Индекс азотного баланса (ИАБ) в целом отражает количественное соотношение хлорофиллов и флавонолов (азота/углерода). ИАБ объединяет хлорофиллы и флавонолы в интегральный показатель.

ИАБ как индикатор азотного статуса растений коррелирует с содержанием азота в биомассе и в определенной степени отражает продукционный и адаптивный аспекты состояния ассимиляционного аппарата [6]. Сведения по азотному балансу в растениях представлены, в основном, без учета сезонной динамики изменений состояния растений, разнообразия форм и условий произрастания.

Цель работы – изучить сезонную динамику и характер изменений индекса азотного баланса в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) с учетом разнообразия форм в условиях загрязнения окружающей среды на территории Уфим-

ского промышленного центра.

Объектом исследования является береза повислая, которая характеризуется широким ареалом распространения. Изменчивость и экологическая пластичность березы подтверждается фактами успешного произрастания и формирования насаждений в естественных и техногенных условиях [7, 8]. Береза повислая как лесообразующий вид успешно участвует в процессах естественного лесовозобновления, широко используется в лесовосстановлении, защитном лесоразведении, озеленении городов и населенных пунктов [9 - 11]. В целом, это свидетельствует об устойчивости и высоком адаптивном потенциале березы, что обеспечивает ее успешное произрастание в составе санитарно-защитных и парковых насаждений [12, 13].

Условия и методы исследования.

Исследования проводились на территории Уфимского промышленного центра (УПЦ) в вегетационный период 2022 г. По материалам Государственного доклада «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2022 году» (Уфа, 2023), основной вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия нефтеперерабатывающей, химической промышленности, электроэнергетики, промышленность строительных материалов. Основные загрязнители атмосферы: взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, фенол, хлорид водорода, аммиак, формальдегид, бензол, ксилол, толуол, этилбензол, четырехлористый углерод, хлороформ, бенз(а)пирен, изопропилбензол, предельные и непредельные углеводороды.

По материалам Государственного доклада «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2022 году» (Уфа, 2023), в целом, 2022 г. характеризовался как умеренно теплый. Минимальная температура воздуха на территории УПЦ в вегетационный период 2022 г. была в мае (-2°C)

и в сентябре (-4°C). Максимальная температура воздуха была в период с июля по сентябрь месяц ($+32^{\circ}\text{C}$, $+31^{\circ}\text{C}$ и $+32^{\circ}\text{C}$, соответственно). Наибольший средний показатель влажности воздуха в течение вегетационного периода в 2022 г. был в июне и составлял 74% (в сентябре – 72%); минимальный показатель влажности был в сентябре и составил 15%.

Исследования проведены в УПЦ в насаждениях на постоянных пробных площадях (ПП) на территории промышленной зоны (ПЗ, ПП№1, расположена в северной части г. Уфы в 2 – 3 км от нефтеперерабатывающих предприятий) и рекреационно-рекреационной зоны (СРЗ, ПП№11, расположена в западной части г. Уфы на удалении 10 – 15 км от источников загрязнения) (рис. 1).

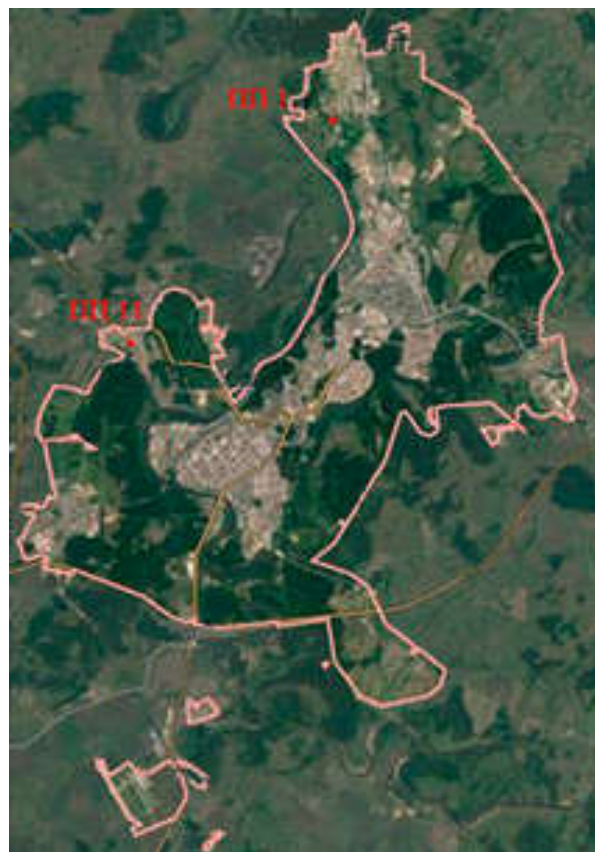


Рисунок 1. Картосхема Уфимского промышленного центра с указанием местоположения постоянных пробных площадей (<https://www.google.ru/maps>) (находится в общем доступе)

Краткая таксационная характеристика насаждений приведена в таблице 1. Насаждения березы имеют возраст 55-58 лет.

Относительное жизненное состояние насаждений (по В.А. Алексееву, 1990) [14] относится к категории «здоровое» (табл. 2).

Таблица 1 – Краткая характеристика таксационных показателей деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) Уфимского промышленного центра

Зона	№ ПП	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Средний возраст, лет
ПЗ	1	25	22	55
СРЗ	11	26	24	58

Таблица 2 – Относительное жизненное состояние (ОЖС, %) деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в насаждениях в промышленной зоне (ПЗ) и в селитебно-рекреационной парковой зоне (СРЗ) Уфимского промышленного центра

Номер пробной площади	Количество деревьев на ПП по категориям ОЖС, шт.						ОЖС насаждения	
	всего	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	отмирающие	сухие	L _N %	категория
ПП№1 ПЗ	20	13	3	3	1	0	82,0	Здоровое
ПП№11 СРЗ	20	16	2	2	0	0	91,0	Здоровое

В исследованиях впервые применен оригинальный авторский методический подход при оценке морфо-физиологических изменений ассимиляционного аппарата древесных растений. Ранее были рассмотрены сезонная динамика морфологических изменений листьев березы, изменение содержания хлорофиллов, изменение индекса эпидермальных флавонолов, изменение индекса эпидермальных антоцианов [15, 16]. На указанных ПП маркированы среднелистные и мелколистные формы деревьев березы. На каждом маркированном дереве в нижней части кроны на брахибластах были выделены и пронумерованы листья (по 10 листьев на каждом дереве). В течение июня – сентября 2022 г. (на пронумерованных листьях ежемесячно в одни и те же сроки) были произведены измерения ИАБ (у.е.) в листьях березы с использованием портативного прибора «Dualox Scientific+» («Force-A», Франция). На каждом листе ИАБ измеряли в 12 точках в межжилковом пространстве: на адаксиальной и абаксиальной сторонах листа, на левой и правой половине листа, в верхней, средней части и в основании листа (общее число измерений 1882).

Проанализирована сезонная динамика изменений ИАБ в листьях березы в июне-сентябре в промышленной зоне (ПП №1: д. 8 среднелистное и д. 10 мелколистное деревья) и селитебно-рекреационной зоне (ПП №11: д. 11 среднелистное и д. 12 мелколистное деревья). Статистическая обработка результатов исследований производилась в программах Excel и Graph Pad Prism.

Результаты исследований и их обсуждения. Сравнение значений ИАБ с учетом местопроизрастания, формовой принадлежности деревьев березы повислой, сроков вегетационного периода и положения точки измерений на листьях позволили выявить некоторые особенности.

Показатель среднего значения ИАБ в листьях березы (с июня по сентябрь) на территориях ПЗ и СРЗ выше в сентябре 2022 г. (29,67 у.е. и 34,36 у.е. соответственно). Этот показатель выше на территории СРЗ по сравнению с ПЗ (рис. 2).

Выявлены достоверные различия между среднелиственными и мелколиственными формами березы для промышленной зоны и селитебно-рекреационной зоны (табл. 3).

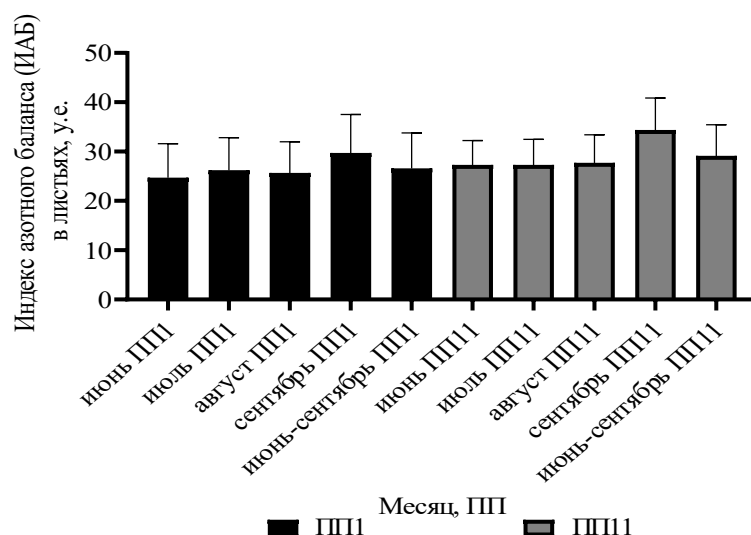


Рисунок 2. Индекс азотного баланса (ИАБ, у.е.) в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) в течение вегетационного периода в промышленной (ППП№1) и селитебно-рекреационной зонах (ППП№11) (средние значения)

Таблица 3 – Индекс азотного баланса (ИАБ, у.е.) в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) среднелистной и мелколистной формы в июне-сентябре в промышленной (ППП№1) и селитебно-рекреационной (ППП№11) зонах Уфимского промышленного центра

Месяц	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
Среднелистная форма								
№ дерева	ПП1 д.8	ПП11 д.11	ПП1 д.8	ПП11 д.11	ПП1 д.8	ПП11 д.11	ПП1 д.8	ПП11 д.11
M ± m	21,25± 0,5501	29,48± 0,3286	23,32± 0,5471	30,91± 0,3546	22,92± 0,5304	32,31± 0,4373	26,12± 0,636	38,63± 0,3659
P (Т-тест)	<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001	
Мелколистная форма								
№ дерева	ПП1 д.10	ПП11 д.12	ПП1 д.10	ПП11 д.12	ПП1 д.10	ПП11 д.12	ПП1 д.10	ПП11 д.12
M ± m	28,14± 0,5534	25,1± 0,4673	29,09± 0,5372	23,66± 0,3238	28,38± 0,5161	23,97± 0,3297	33,22± 0,6477	29,68± 0,521
P (Т-тест)	<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001	

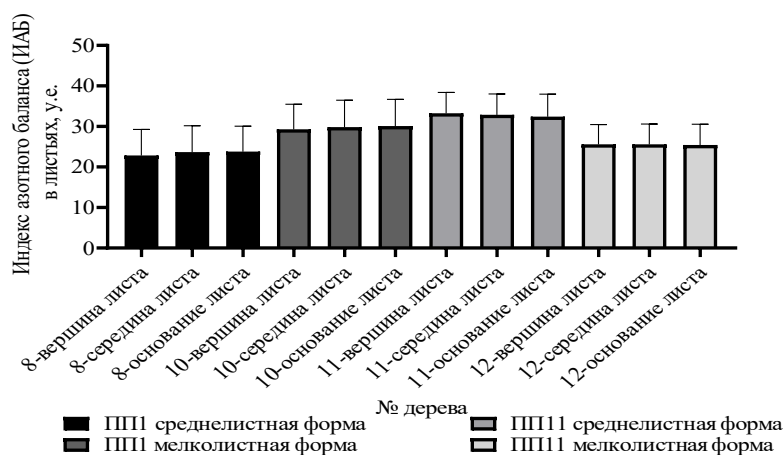


Рисунок 3. Индекс азотного баланса (ИАБ, у.е.) в листьях (вершина листа, середина листа, основание листа) березы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне-сентябре в промышленной и селитебно-рекреационной зонах (ПП №1 – дерево 8 и дерево 10; ППП№11 – дерево 11 и дерево 12) (8 и 11 – среднелистная форма дерева и 10 и 12 – мелколистная форма дерева) (средние значения)

Показатель среднего значения ИАБ в ПЗ в листьях березы (с июня по сентябрь) выше у мелколистного дерева, а в СРЗ – выше у среднелистного дерева (рис. 3).

Показатель среднего значения ИАБ у среднелистных форм березы и у мелко-

листных форм (как на территории ПЗ, так и на территории СРЗ) выше в сентябре (табл. 4). Причем, у деревьев среднелистной формы: д. 8 – в середине листа; д. 11 – в вершине листа. У деревьев мелколистной формы – в основании листа.

Таблица 4 – Описательная статистика сезонной динамики индекса азотного баланса (ИАБ, у.е.) в листьях (вершина, середина и основание листа) березы повислой (*Betula pendula* Roth) среднелистной и мелколистной формы в июне-сентябре в промышленной (ПП№1) и селитебно-рекреационной (ПП№11) зонах Уфимского промышленного центра

Показатели	Месяц											
	июнь			июль			август			сентябрь		
ПП1 дерево 8 среднелистная форма (июнь-сентябрь)												
	В	С	О	В	С	О	В	С	О	В	С	О
M ± m	20,74± 0,9459	21,5± 0,9785	21,53± 0,9523	22,64± 0,9365	23,32± 0,9812	24,01± 0,936	22,29± 0,9426	23,33± 0,9475	23,15± 0,8796	25,61± 1,122	26,39± 1,113	26,36± 1,094
CV, %	28,85	28,79	27,62	26,16	26,61	24,66	26,74	25,69	24,03	27,70	26,67	26,25
ПП1 дерево 10 мелколистная форма (июнь-сентябрь)												
M ± m	28,1± 0,9265	28,14± 0,9918	28,18± 0,981	28,7± 0,9553	29,34± 0,953	29,22± 0,9025	28,06± 0,8866	28,29± 0,9221	28,8± 0,8911	32,2± 1,031	33,45± 1,162	34,01± 1,176
CV, %	20,86	22,29	21,74	21,05	20,55	19,53	19,98	20,62	19,57	20,24	21,98	21,87
ПП11 дерево 11 среднелистная форма (июнь-сентябрь)												
M ± m	29,9± 0,5208	29,39± 0,5596	29,15± 0,6295	31,14± 0,5792	31,17± 0,6074	30,44± 0,6616	32,72± 0,7098	32,4± 0,7424	31,81± 0,8302	39,41± 0,5677	38,4± 0,6203	38,13± 0,6978
CV, %	11,02	12,04	13,66	11,77	12,33	13,75	12,27	12,96	14,76	8,880	10,22	11,57
ПП11 дерево 12 мелколистная форма (июнь-сентябрь)												
M ± m	24,85± 0,7928	25,18± 0,8208	25,27± 0,8331	24,17± 0,5557	23,8± 0,5753	23,03± 0,5502	24,28± 0,5632	24± 0,5767	23,65± 0,5832	29,3± 0,96	29,69± 0,8911	30,06± 0,8756
CV, %	20,17	20,62	20,85	14,54	15,29	15,11	14,67	15,20	15,60	19,65	18,01	17,48

Примечание: ПП1 – промышленная зона, ПП11 – селитебно-рекреационная зона; В – вершина, С – середина и О – основание листа.

Показатель среднего значения ИАБ в листьях березы (с июня по сентябрь) на территориях ПЗ и СРЗ у деревьев среднелистных и у мелколистных форм выше

на абаксиальной стороне листьев (рис. 4). Выявлена достоверность различий между сравниваемыми группами (табл. 5).

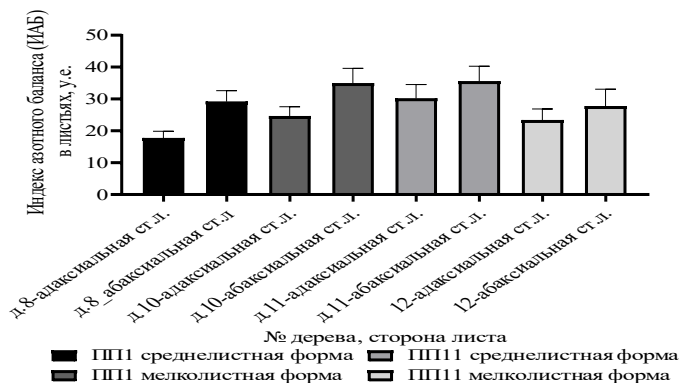


Рисунок 4. Индекс азотного баланса (ИАБ, у.е.) в листьях (адаксиальная и абаксиальная стороны листа) березы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне-сентябре в промышленной и селитебно-рекреационной зонах (ПП№1 – дерево 8 и дерево 10; ПП№11 – дерево 11 и дерево 12) (8 и 11 – среднелистная форма дерева и 10 и 12 – мелколистная форма дерева) (средние значения)

Таблица 5 – Индекс азотного баланса (ИАБ, у.е.) на адаксиальной и абаксиальной сторонах листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) среднелистной формы и мелколистной в июне-сентябре в промышленной зоне (ПП№1) и селитебно-рекреационной зоне (ПП№11) Уфимского промышленного центра

Показатели	Адаксиальная сторона листа				Абаксиальная сторона листа			
	июнь	июль	август	сентябрь	июнь	июль	август	сентябрь
ПП1 дерево 8 среднелистная форма								
M ± m	15,74± 0,1609	17,7± 0,1987	17,44± 0,1861	19,84± 0,2863	26,86± 0,3723	28,95± 0,307	28,41± 0,2833	32,4± 0,4616
Июнь-сентябрь								
M ± m	17,68±0,1419				29,16±0,2228			
P (Т-тест)	<0,0001							
ПП1 дерево10 мелколистная форма								
M ± m	22,99± 0,3213	24,46± 0,3885	23,81± 0,3178	26,97± 0,3362	33,37± 0,4621	33,72± 0,5356	32,96± 0,5136	39,47± 0,5057
Июнь-сентябрь								
M ± m	24,56±0,1953				34,88±0,3048			
P (Т-тест)	<0,0001							
ПП11, дерево 11 среднелистная форма								
M ± m	26,53± 0,2214	28,32± 0,3222	29,65± 0,3829	36,11± 0,3319	32,42± 0,3046	33,51± 0,4177	34,97± 0,5703	41,16± 0,458
Июнь-сентябрь								
M ± m	30,15±0,2909				35,52±0,3155			
P (Т-тест)	<0,0001							
ПП11 дерево 12 мелколистная форма								
M ± m	22,68± 0,3988	21,64± 0,2592	22,04± 0,2685	27,29± 0,5019	27,52± 0,723	25,69± 0,4655	25,91± 0,489	32,07± 0,7932
Июнь-сентябрь								
M ± m	23,31±0,2316				27,69±0,3514			
P (Т-тест)	<0,0001							

Для листьев среднелистных и мелколистных форм березы выявлена достоверность различий ИАБ при сравнении значений, полученных за период июнь-сентябрь в промышленной зоне (ПП №1 – д. 8, д. 10) и в селитебно-рекреационной зоне (ПП №11 – д. 11, д. 12). Наиболее высокая статистическая значимость различий выявлена при проведении анализа для каждого отдельного месяца (июнь – сентябрь) ($P < 0,0001$).

Заключение. Методом неразрушающего контроля получены сведения о сезонной динамике индекса азотного баланса (ИАБ) в листьях березы с учетом локализации точек определения в различных частях листовой пластинки. Проведена статистическая обработка представленных величин ИАБ в листьях березы в течение июня – сентября 2022 г. в промышленной

зоне (ПП№1) и селитебно-рекреационной зоне (ПП№11) на территории УПЦ.

С помощью Т-теста определена достоверность различий ИАБ в листьях сравниваемых групп у среднелистных и мелколистных форм березы на территории промышленной и селитебно-рекреационной зон. Впервые отмечено, что на территории промышленной зоны показатель среднего значения ИАБ в листьях березы (с июня по сентябрь) выше у мелколистных деревьев. ИАБ в листьях у среднелистного дерева выше в вершине листа, а у мелколистного дерева несколько выше в основании листа. Данные адаптивные изменения соотношения хлорофиллов и флавонолов согласуются с пролонгированным ростом побегов и листьев в условиях нефтехимического загрязнения и повреждаемостью верхушечной и перифе-

рийной частью листьев токсикантами.

Показано, что в промышленной зоне УПЦ с углеводородным типом загрязнения окружающей среды у среднелистных и мелколистных берез ИАБ на абаксиальной стороне листьев достоверно более высокий по сравнению с адаксиальной стороной листьев.

На примере сезонной динамики изме-

нений ИАБ в листьях березы повислой показано, что данный лесообразующий вид успешно произрастает в условиях нефтехимического загрязнения окружающей среды и характеризуется выраженными адаптивными реакциями, обеспечивающими устойчивость к комплексу природных и техногенных экстремальных факторов.

Список источников

1. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach / R. Esteban, O. Barrutia, U. Artetxe [et al.] // New Phytologist 206. 2015; 268–280. DOI: 10.1111/nph.13186.
2. Оценка влияния углекислотных экстрактов пихты сибирской на индекс азотного баланса зерновых культур / А.Л. Ковалева, Н.С. Зиннер, А.Н. Некратова, А.В. Щукина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета 2021. № 2 (196). С. 20–26. EDN: GXWFNA.
3. The interaction between nitrogen supply and light quality modulates plant growth and resource allocation / Y. Liang, C.M. Cossani, V.O. Sadras [et al.] // Front. Plant Sci. 13. 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.864090.
4. Семенютина В.А., Беляев А.И., Свинцов И.П. Анализ содержания биологических пигментов в листьях древесных растений при стрессовых воздействиях // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 43–48. DOI: 10.17513/use.37430. EDN: CPHWDX.
5. Цибилова А.А., Сергалиева М.У. Количественное определение флавоноидов в листьях березы // Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2020. С. 136–138. EDN: FOVXUX.
6. Ma J., Han H., Zhang W., Cheng X. Dynamics of nitrogen and active nitrogen components across seasons under varying stand densities in a *Larix principis-rupprechtii* (Pinaceae) plantation // PeerJ 6:e5647. 2018. DOI: 10.7717/peerj.5647.
7. Мамаев С.А. Внутривидовая изменчивость и проблемы интродукции древесных растений // Успехи интродукции растений. М.: Наука, 1973. С. 128–140.
8. Рахмангулов Р.С. Морфологическая структура и изменчивость листьев березы (*Betula* L.) на высотном градиенте (Южный Урал) и в условиях антропогенной нагрузки: автореф. дис... канд. биол. наук. Уфа, 2017. 22 с. EDN: ZQHPBZ
9. Авдеева Е.В., Кухар И.В. Оценка стабильности развития ассимиляционного аппарата березы повислой методами дендроиндикации (на примере скверов города Красноярска) // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. 43, № 4. С. 40–49. DOI: 10.53374/1993-0135-2025-4-40-49. EDN: MGRIKV.
10. Примаков Н.В. Перспективность применения древесно-кустарниковых растений в озеленении города Краснодар // Известия вузов. Лесной журнал 2022. № 1. С. 98–109. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-98-109. EDN: NBQSYV
11. Систематическая структура дендрофлоры г. Мирного / Н.Р. Сунгурова, С.Р. Страздаускене, Г.Н. Стругова и др. // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2024. № 3 (76). С. 118–126. DOI: 10.34655/bgsha.2024.76.3.015. EDN: BRFOYK.
12. Курило Ю.А., Донец Е.В., Григорьев А.И. Опыт по исследованию продолжительности влияния нефтяного загрязнения на характеристику биоэлектрического сопротивления березы повислой (*Betula pendula* Roth) // Вестник Нижневартского государственного университета. 2020. № 1. С. 68–74. DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/11. EDN: FRXVPG.
13. Результаты интродукционного испытания представителей рода *Betula* L. Европейской флоры в коллекции дендрологического сада им. В.Н. Нилова / Н.А. Демидова, Т.М. Дуркина, Л.Г. Гоголева, Н.Н. Васильева // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2022. № 1(66). С. 83–90. DOI: 10.34655/bgsha.2022.66.1.011. EDN: LCDMSM.
14. Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
15. Тагирова О.В., Иванов Р.С., Кулагин А.Ю. Сезонная динамика содержания хлорофиллов в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2024; 3(63): 55–70. DOI: 10.25686/2306-2827.2024.3.55. EDN: PRXZRD.
16. Тагирова О.В., Кулагин А.Ю., Иванов Р.С. Динамика и изменчивость содержания флавонолов в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения // Биосфера. 2025. Т. 17. № 3. С. 225–231. DOI: 10.24855/biosfera.v17i3.980. EDN: LXULMQ.

References

1. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U. [et al.]. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. *New Phytologist*. 2015;206:268–280. DOI: 10.1111/nph.13186.
2. Kovaleva A.L., Zinner N.S., Nekratova A.N., Shchukina A.V. Evaluation of the effect of carbon dioxide extracts of siberian fir on the nitrogen balance index of grain crops. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2021;2(196):20-26 (In Russ.).
3. Liang Y., Cossani C.M., Sadras V.O., Yang Q., Wang Z. The interaction between nitrogen supply and light quality modulates plant growth and resource allocation. *Front. Plant Sci.* 2022;13. DOI: 10.3389/fpls.2022.864090.
4. Semenyutina V.A., Belyaev A.I., Svintsov I.P. Analysis of the content of biological pigments in leaves of wood plants under stress. *Advances in current natural sciences*. 2020;7:43-48 (In Russ.). DOI: 10.17513/use.37430.
5. Tsibizova A.A., Sergalieva M.U. Quantitative determination of flavonoids in birch leaves. *Science. Researches. Practice: Collection of selected articles based on the materials of the International Scientific Conference*. Saint-Petersburg, 2020;136-138 (In Russ.).
6. Ma J., Han H., Zhang W., Cheng X. Dynamics of nitrogen and active nitrogen components across seasons under varying stand densities in a *Larix principis-rupprechtii* (Pinaceae) plantation. *PeerJ*. 2018;6:e5647. DOI: 10.7717/peerj.5647.
7. Mamaev S.A. Intraspecific variability and problems of woody plant introduction. *Successes of plant introduction*. Moscow: Nauka, 1973;128-140 (In Russ.).
8. Rakhmangulov R.S. Morphological structure and variability of birch leaves (*Betula* L.) on a high-altitude gradient (Southern Urals) and under anthropogenic stress. Candidate's dissertation abstract. 2017. 22 p. (In Russ.).
9. Avdeeva E.V., Kukhar I.V. Evaluation of the stability of development of the assimilation apparatus of drooping birch using dendroindication methods (using the example of public gardens in Krasnoyarsk). *Conifers of the boreal area*. 2025;Vol.43, No4:40-49 (In Russ.). DOI: 10.53374/1993-0135-2025-4-40-49. EDN: MGRIKV.
10. Primakov N.V. Prospects for woody and shrubby plants in the landscaping of Krasnodar. *Russian Forestry Journal*. 2022;1:98109 (In Russ.). DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-98-109.
11. Sungurova N.R., Strazdauskene S.R., Strugova G.N., Makarov S.S., Zubik I.N. The systematic structure of the dendroflora of the Mirny city. *Buryat Agrarian Journal*. 2024;3(76):118-126 (In Russ.). DOI: 10.34655/bgsha.2024.76.3.015.
12. Kurilo Yu.A., Donets E.V., Grigoriev A.I. Experience in the study of the duration of the influence of oil pollution on the characteristic of bioelectric resistance of birch (*Betula pendula* Roth). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. 2020;1:68-74 (In Russ.). DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/11.
13. Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Vasiljeva N.N. The results of introduction test of the european flora representatives of the genus *Betula* L. in the dendrological garden named after V.N. Nilov. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2022;1(66):83-90 (In Russ.). DOI: 10.34655/bgsha.2022.66.1.011.
14. Alekseev V.A. Some issues of diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution. *Forest ecosystems and atmospheric pollution*. Leningrad: Nauka, 1990. Pp. 38–54 (In Russ.).
15. Tagirova O.V., Ivanov R.S., Kulagin A.Yu. Seasonal dynamics of the chlorophyll content in the leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) under conditions of industrial pollution. *Vestnik of Volga State University of technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. 2024;3(63):55-70 (In Russ.). DOI: 10.25686/2306-2827.2024.3.55.
16. Tagirova O.V., Kulagin A.Yu., Ivanov R.S. Dynamics and variability of flavonol content in silver birch (*Betula pendula* Roth) leaves under industrial pollution. *Biosfera*. 2025;Vol.17.No3:225-231 (In Russ.). DOI: 10.24855/biosfera.v17i3.980.

Информация об авторе

Олеся Васильевна Тагирова – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории лесоведения, Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, olecyi@mail.ru.

Information about the author

Olesya V. Tagirova – Candidate of Science (Biology), Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory of Forestry, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, olecyi@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.01.2026; одобрена после рецензирования 10.04.2026; принята к публикации 14.04.2026.

The article was submitted 20.01.2026; approved after reviewing 10.04.2026; accepted for publication 14.04.2026.