

Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4 (91). С. 94–105.
Forests of Russia and economy in them. 2024. № 4 (91). P. 94–105.

Научная статья

УДК 574.24

DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.010

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТЬЕВ И ПОБЕГОВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Рамиль Раилович Галимов¹, Айтуган Айбулатович Уразбахтин²,
Руслан Вилисович Уразгильдин³

¹⁻³ Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

¹ ramil_galimov_98@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1472-1469>

² urazbaxtin1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1779-7714>

³ urv@anrb.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2071-9306>

Аннотация. Представлены результаты исследования морфологических параметров листьев и побегов березы повислой при произрастании в условиях различных типов промышленного загрязнения Южно-Уральского региона: Стерлитамакского промышленного центра, Карабашского медеплавильного комбината, Учалинского горно-обогатительного комбината, Кумертауского бурогольного разреза, Уфимского промышленного центра. Анализ проводился по следующим параметрам: масса, длина, ширина, площадь листьев и масса, длина, диаметр побегов. Показано, что нефтехимическое загрязнение и полиметаллическое на медно-колчеданных отвалах горнорудной промышленности подавляют ростовые процессы листьев (до 27 и до 7 % соответственно), вызывая стрессовые адаптивные реакции, что указывает на низкий адаптивный потенциал березы к данным типам загрязнения, а аэротехногенное полиметаллическое и полиметаллическое в сочетании с сернистым ангидридом, полиметаллическое на бурогольных отвалах способствуют активации роста практически всех морфологических параметров листьев (до 15, до 11 и до 33 % соответственно), вызывая толерантные адаптивные реакции, что указывает на высокий адаптивный потенциал березы к данным типам загрязнения. В отличие от листьев у побегов при нефтехимическом и аэротехногенном полиметаллическом и полиметаллическом в сочетании с сернистым ангидридом загрязнениях наблюдается уменьшение морфологических параметров (до 22, до 33 и до 67 % соответственно) и проявляется стрессовая адаптивная реакция, а в условиях медно-колчеданных и бурогольных отвалов изменения отсутствуют и проявляется нейтральная адаптивная реакция. Следовательно, при полиметаллическом аэротехногенном загрязнении наблюдаются противоположные адаптивные реакции между листьями и побегами березы, при нефтехимическом загрязнении – согласованные, а в условиях медно-колчеданных и бурогольных отвалов – несвязанные. Таким образом, показана относительная независимость адаптивных реакций морфологических параметров как в листьях и побегах, так между листьями и побегами. Качественная оценка адаптивных реакций позволяет рекомендовать воздержаться от использования березы для создания искусственных защитных насаждений при нефтехимическом

загрязнении и в условиях медно-колчеданных отвалов, а при аэротехногенном полиметаллическом загрязнении и в условиях буроугольных отвалов, наоборот, стоит рассматривать данную породу как перспективную.

Ключевые слова: береза повислая, листья, побеги, морфологические параметры, промышленное загрязнение, Южно-Уральский регион, адаптивные реакции, сравнительная характеристика

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

Для цитирования: 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.

Original article

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF BIRCH LEAVES AND SHOOTS UNDER DIFFERENT TYPES OF POLLUTION IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH URALS REGION

Ramil R. Galimov¹, Aitugan A. Urazbakhtin², Ruslan V. Urazgildin³

¹⁻³ Ufa Institute of biology UFRC RAS, Ufa, Russia

¹ ramil_galimov_98@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1472-1469>

² urazbakhtin1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1779-7714>

³ urv@anrb.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2071-9306>

Abstract. The results of the study of morphological parameters of leaves and shoots of birch when growing in conditions of various types of industrial pollution of the South Ural region (Sterlitamak industrial center, Karabash copper smelting plant, Uchaly mining and processing plant, Kumertau brown coal mine, Ufa industrial center) are presented. The analysis was carried out using following parameters: weight, length, width, area of leaves and weight, length, diameter of shoots. It has been shown that petrochemical pollution and polymetallic pollution on copper-pyrite dumps of the mining industry suppress the growth processes of leaves (up to 27 and up to 7 % respectively), causing stress adaptive reactions, which indicates a low adaptive potential of birch to these types of pollution. But aerotechnogenic polymetallic and polymetallic combined with sulfur dioxide pollutions, and polymetallic pollution on brown-coal dumps contribute to the activation of the growth of almost all morphological parameters of leaves (up to 15, up to 11 and up to 33 % respectively), causing tolerant adaptive reactions, which indicates a high adaptive potential of birch to these types of pollution. Unlike leaves, shoots in conditions of petrochemical and aerotechnogenic polymetallic and polymetallic combined with sulfur dioxide pollutions demonstrate a decrease in morphological parameters (up to 22, up to 33 and up to 67 % respectively) and a stress adaptive reaction is manifested, but in conditions of copper-pyrite and brown-coal dumps there are no changes in morphological parameters and a neutral adaptive reaction is manifested. Consequently, in polymetallic aerotechnogenic pollution the opposite adaptive reactions between leaves and shoots of birch are observed, in petrochemical pollution – coordinated, and in conditions of copper-pyrite and brown coal dumps – unrelated. Thus, the relative independence of adaptive reactions of morphological parameters in both leaves and shoots

and between leaves and shoots is shown. A qualitative assessment of adaptive reactions makes it possible to recommend refraining from using birch to create protective plantations in case of petrochemical pollution and in conditions of copper-pyrite dumps, and in the conditions of aerotechnogenic polymetallic pollution and brown-coal dumps, on the contrary, this species should be taken into account as perspective.

Keywords: birch, leaves, shoots, morphological parameters, industrial pollution, South Ural region, adaptive reactions, comparative characteristics

Funding: the work was carried out within the framework of State Assignment № 075-00570-24-01 on the topic № 123020700152-5 “Sustainability of forest-forming tree species and ecological and biological adaptation, taking into account the anthropogenic transformation of landscape and natural complexes”. The work used the instrument base of the Agidel Collective Use Center.

For citation: 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). P. 94–105.

Введение

За двадцатое столетие произошел резкий скачок развития производственных мощностей, который обостряет вопросы загрязнения промышленными центрами лесных экосистем. Богатством Южно-Уральского региона является огромное количество полезных ископаемых, чем обусловлено столь массовое появление промышленных центров для их добычи и переработки. Каждое из этих предприятий имеет свои особенности производства и значительное количество загрязнителей в составе выбросов. Лес – это природный фильтр, который поглощает множество различных загрязнителей и восстанавливает качество воздуха. Специфические комплексы загрязнителей неоднородно влияют на растительные организмы, произрастающие в защитных насаждениях буферных зон предприятий. В научных трудах последних лет часто встречаются выводы как об отрицательном, так и положительном влиянии техногенеза на древесные растения, особенно на морфологию ассимиляционного аппарата, напрямую контактирующего с токсикантами. Подавляющее количество исследователей указывают на снижение ростовых процессов листьев и побегов березы в условиях различных типов загрязнения (Аралбаева и др., 2009; Беляева, 2018; Бунькова, Абраменко, 2020; Влияние выбросов..., 2016; Завьялов, 2009; Котенко и др., 2023; Лукина, 2011; Неверова, 2002; Саркисянц, 2019; Турмухаметова, 2005; Уразгильдин, 2021; Уразов и др., 2023; Tagirova, Kulagin, 2021; The bioindicative characteristics..., 2023 и др.).

Но крайне редко встречаются публикации, упоминающие о положительном влиянии техногенного загрязнения, причем удлинение побегов описывается чаще (Бухарина и др., 2007; Легощина и др., 2016), чем увеличение размеров листьев (The effects..., 2015). Качественная оценка выявленных адаптивных реакций и сравнительная характеристика влияния различных типов промышленного загрязнения на морфологические параметры древесных растений в публикациях отсутствуют.

Цель, задачи, методика и объекты исследования

Цель работы – сравнительная оценка воздействия различных типов аэротехногенного загрязнения и отвалов горнорудной промышленности в условиях Южно-Уральского региона на морфологические параметры листьев и побегов березы повислой и качественная оценка выявленных адаптивных реакций. Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- 1) подбор промышленных центров с различными типами загрязнения;
- 2) подбор пробных площадей, близких по таксационным характеристикам, в условиях загрязнения и контроля;
- 3) сбор и гербаризация материала, проведение измерений, статистическая обработка и анализ полученных данных.

Районы исследования – пять промышленных центров Южно-Уральского региона с разными

типами промышленного загрязнения (Государственный доклад..., 2023; Реферат..., 2022): Стерлитамакский промышленный центр (СПЦ), Sterlitamak industrial center (SIC) – полиметаллическое загрязнение; Карабашский медеплавильный комбинат (КМК), Karabash copper smelting plant (KCSP) – полиметаллическое загрязнение в сочетании с сернистым ангидридом; Учалинский горно-обогатительный комбинат (УГОК), Uchaly mining and processing plant (UMPP) – полиметаллическое загрязнение в условиях отвалов вскрыш-

ных пород медно-колчеданной горнорудной промышленности; Кумертауский бурогольный разрез (КБР), Kumertau brown coal mine (KBСM) – полиметаллическое загрязнение в условиях отвалов вскрышных пород бурогольного разреза; Уфимский промышленный центр (УПЦ), Ufa industrial center (UIC) – нефтехимическое загрязнение. В каждом районе исследований в соответствии с розой ветров были условно выделены зоны сильного загрязнения и контроль (рис. 1).

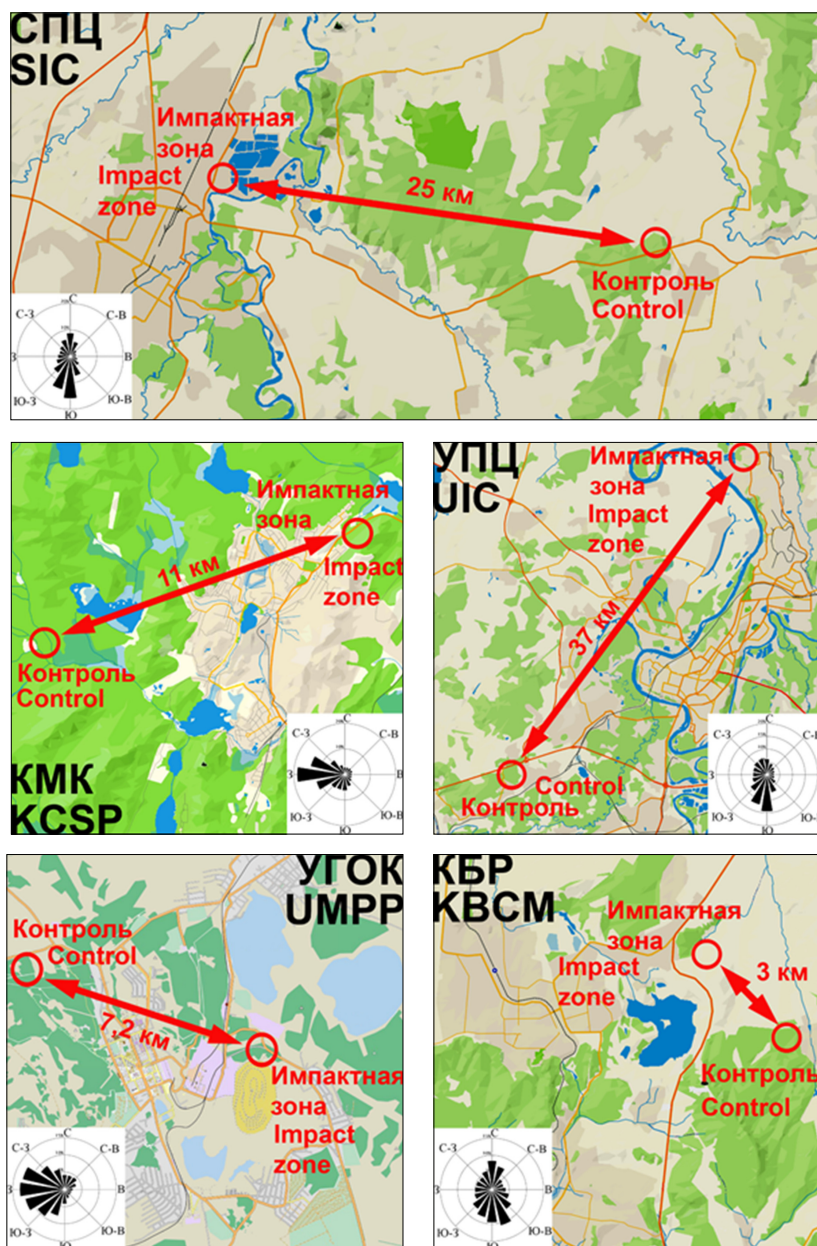


Рис. 1. Схема размещения пробных площадей в промышленных центрах и на контроле (использованы Yandex-карты) с годовой розой ветров (<https://ru.meteocast.in>)

Fig. 1. Scheme of test areas in industrial centers and in control (used Yandex cards) with annual Windrose (<https://ru.meteocast.in>)

Объект исследования – береза повислая (*Betula pendula* Roth) – является пионерным лесообразующим видом Предуралья, которая образует древостои во всех пяти промцентрах, характеризуется высокой энергией роста и неприхотлива к условиям произрастания (Тахтаджян, 1956; Флора..., 1934). Краткая таксационная характеристика древостоев представлена в табл. 1. Из таблицы видно, что существенные различия по таксационным показателям между загрязнением и контролем наблюдаются только на отвалах вскрышных пород УГОК и КБР. Это объясняется тем, что естественное зарастание отвалов началось в конце прошлого века после завершения отсыпки грунтов, по данной причине в условиях контроля отсутствуют древостои, близкие по возрасту. В СПЦ, КМК и УПЦ древостои подобраны корректно, однако следует отметить, что запас древостоя в условиях загрязнения во всех случаях снижается относительно такового на контроле практически на 100 м³/га.

Листья для морфологических исследований собирались с нижней части кроны южной экспозиции дерева во второй половине вегетационного периода после окончания формирования листьев с последующей гербаризацией (минимум 60 образцов). В лабораторных условиях у образцов измерялись следующие параметры: масса абсолютно сухих листьев (мг), длина листа (см), ширина листа (см), площадь листа (см²). Длину (см) и диаметр (мм) побегов текущего года генерации измеряли на сорванных побегах непосредственно в полевых условиях после очистки от листьев, повторность – минимум 20 побегов. Длину, ширину листьев и длину побегов определяли при помощи линейки с точностью до 0,01 мм, диаметр побегов измеряли при помощи штангенциркуля с точностью до 0,01 мм. Масса абсолютно сухих листьев и побегов определялась на высокоточных электронных весах Diamond с точностью до 0,001 г. Для вычисления площади листа березы была использована программа PetiolePro.

Таблица 1
Table 1

Краткая таксационная характеристика древостоев
Brief taxation characteristics of forest stands

Промышленный центр Industrial centre	Местоположение и состав древостоя Location and composition of the forest stand	A ср, лет A avg, yearss	D ср, см D avg, cm	H ср, м H avg, m	Полнота Density	Запас, м ³ /га Timber volume, m ³ /hectare
СПЦ SIC	Загрязнение, 9Б1ТЧ Pollution, 9B1BP	30	27	26	0,6	312,32
	Контроль, 9Б1Д+ОС Control, 9B1O+AS	26	27	26	0,6	408,56
КМК KCSP	Загрязнение, 10Б Pollution, 10B	70	23	24	0,6	377,22
	Контроль, 10Б Control, 10B	65	21	30	0,8	491,12
УГОК UMPP	Загрязнение, 5Б5С Pollution, 5B5P	30	12	14	0,6	327,30
	Контроль, 10Б Control, 10B	50	31	32	0,6	341,00
КБР KBСM	Загрязнение, 7С3Б Pollution, 7P3B	20	15	18	0,8	187,04
	Контроль, 10Б Control, 10B	40	33	30	0,7	627,48
УПЦ UIC	Загрязнение, 10Б Pollution, 10B	36	36	30	0,8	495,00
	Контроль, 5ЛП5Б+В+Д Control, 5L5B+E+O	40	28	27	0,6	582,04

При определении адаптивных реакций использована классификация и методика, предложенная Р.В. Уразгильдиным (2021). В дендрозологии классическими (стрессовыми) адаптивными реакциями древесных растений на усиление степени промышленного загрязнения принято считать уменьшение морфологических параметров листьев и побегов (длины, ширины, площади, массы и др.), поэтому к стрессовым адаптивным реакциям относили все значительные и статистически достоверные изменения, направленные на усиление ксероморфности, противоположные изменения относили к толерантным адаптивным реакциям, а реакции, выраженные незначительно или статистически недостоверно, – к умеренно-стрессовым и умеренно-толерантным.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка морфологических параметров листьев и побегов березы в различных типах промышленного загрязнения Южно-Уральского региона выявила следующие закономерности (рис. 2).

Масса листьев увеличивается относительно таковой на контроле значительно и достоверно в условиях КМК и КБР, незначительно и недостоверно в СПЦ, но значительно и достоверно уменьшается в условиях УПЦ; в УГОК изменения отсутствуют.

Длина листьев увеличивается относительно таковой на контроле в условиях СПЦ значительно и достоверно, в КМК и КБР незначительно и недостоверно, но уменьшается значительно и достоверно в условиях УПЦ, в УГОК незначительно, но достоверно.

Ширина листьев в условиях СПЦ и КМК незначительно и недостоверно увеличивается относительно таковой на контроле, но уменьшается в условиях УПЦ значительно и достоверно; в УГОК и КБР изменения отсутствуют.

Площадь листьев увеличивается относительно таковой на контроле в условиях СПЦ значительно и достоверно, в КМК и КБР незначительно и недостоверно, но уменьшается в УПЦ значительно и достоверно, в УГОК незначительно и недостоверно.

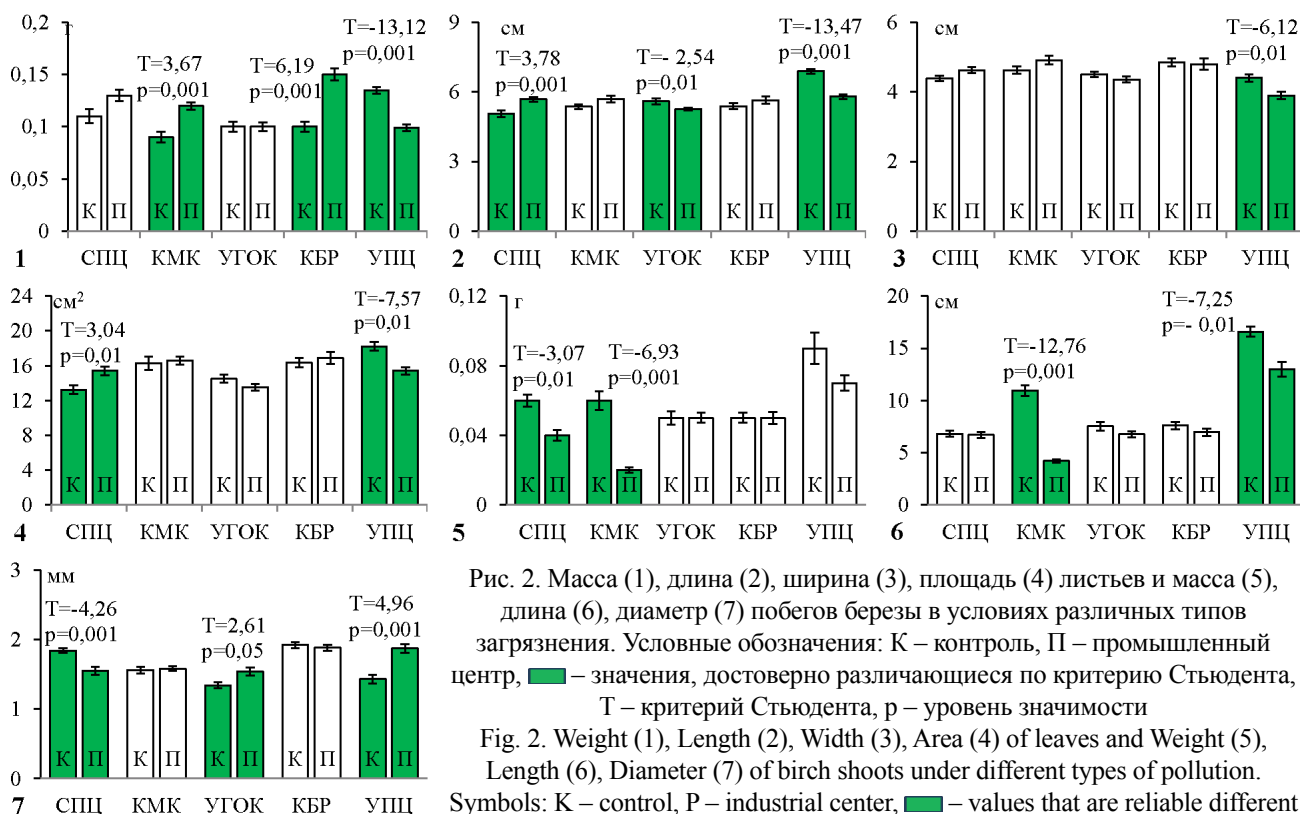


Рис. 2. Масса (1), длина (2), ширина (3), площадь (4) листьев и масса (5), длина (6), диаметр (7) побегов березы в условиях различных типов загрязнения. Условные обозначения: К – контроль, П – промышленный центр, ■ – значения, достоверно различающиеся по критерию Стьюдента, T – критерий Стьюдента, p – уровень значимости
 Fig. 2. Weight (1), Length (2), Width (3), Area (4) of leaves and Weight (5), Length (6), Diameter (7) of birch shoots under different types of pollution. Symbols: K – control, P – industrial center, ■ – values that are reliable different according to the Student’s test, T – Student’s test, p – level of significance

Масса побегов уменьшается относительно таковой на контроле в условиях СПЦ и КМК значительно и достоверно, в УПЦ значительно и недостоверно, в УГОК и КБР изменения отсутствуют.

Длина побегов уменьшается относительно таковой на контроле в условиях КМК и УПЦ значительно и достоверно, в УГОК и КБР незначительно и недостоверно, в СПЦ изменения отсутствуют.

Диаметр побегов относительно такового на контроле увеличивается в условиях УПЦ значительно и достоверно, в УГОК незначительно и достоверно, но уменьшается относительно контроля в условиях СПЦ значительно и достоверно; в КМК и КБР изменения отсутствуют.

Полученные результаты дают возможность классифицировать адаптивные реакции морфологических параметров листьев и побегов березы в условиях различных типов загрязнения Южно-Уральского региона (табл. 2):

– в условиях загрязнения СПЦ наблюдается значительное увеличение всех морфологических параметров листьев (в среднем на 11–15 %),

а у побегов – уменьшение диаметра и массы (на 16 и 33 % соответственно) при неизменной длине. Следовательно, адаптивная реакция на полиметаллическое загрязнение в отношении листьев толерантная, а в отношении побегов – стрессовая;

– в условиях загрязнения КМК наблюдается незначительное увеличение всех морфологических параметров листьев (в среднем на 6–11 %), а у побегов – значительное уменьшение массы и длины (на 67 и 62 % соответственно) при неизменном диаметре. Следовательно, адаптивная реакция на загрязнение полиметаллическим аэрозолем с примесью сернистого ангидрида в отношении листьев умеренно-толерантная, а в отношении побегов – стрессовая;

– в условиях загрязнения УГОК наблюдается незначительное уменьшение длины и площади листа (на 6 и 7 % соответственно) при отсутствии изменения ширины и массы. В отношении побегов нет единой тенденции: при неизменной массе наблюдается увеличение диаметра (на 13 %), но уменьшение длины (на 10 %). Следовательно,

Таблица 2
Table 2

Адаптивные реакции морфологических параметров листьев и побегов березы по отношению к различным типам загрязнения
Adaptive reactions of morphological parameters of leaves and shoots of birch in relation to various types of pollution

Промышленный центр/ Местоположение Industrial Center/ Location	Масса листа Leaf weight	Длина листа Leaf length	Ширина листа Leaf width	Площадь листа Leaf area	Масса побега Shoot weight	Длина побега Shoot length	Диаметр побега Shoot diameter
СПЦ SIC	↑	↑↑	↑	↑↑	↓↓	(–)	↓↓
КМК KCSP	↑↑	↑	↑	↑	↓↓	↓↓	(–)
УГОК UMPP	(–)	↓	(–)	↓	(–)	↓	↑
КБР KBCM	↑↑	↑	(–)	↑	(–)	↓	(–)
УПЦ UIC	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓	↓↓	↑↑

Условные обозначения изменения морфологических параметров в промцентрах относительно таковых на контроле:
 ↑↑ – значительное и достоверное увеличение; ↑ – незначительное или недостоверное увеличение; (–) – изменения отсутствуют;
 ↓ – незначительное или недостоверное уменьшение; ↓↓ – значительное и достоверное уменьшение
 Symbols for changes in morphological parameters in industrial centers relative to control: ↑↑ – significant and reliable increase;
 ↑ – slight or unreliable increase; (–) – no changes; ↓ – insignificant or unreliable decrease; ↓↓ – significant and reliable decrease

адаптивная реакция на полиметаллическое загрязнение в условиях отвалов медно-серной горнорудной промышленности в отношении листьев умеренно-стрессовая, а в отношении побегов – нейтральная;

– в условиях загрязнения КБР наблюдаются увеличение всех морфологических параметров листьев (от 3 до 33 %) за исключением неизменной ширины, но уменьшение длины побегов (на 8 %) при отсутствии изменений диаметра и массы. Следовательно, адаптивная реакция на полиметаллическое загрязнение в условиях отвалов вскрышных пород буроугольного разреза в отношении листьев умеренно-толерантная, а в отношении побегов – нейтральная;

– в условиях загрязнения УПЦ четко просматривается значительное уменьшение всех морфологических параметров листьев (на 11–27 %). В отношении побегов нет единой тенденции: при уменьшении длины и массы (на 22 %) наблюдается увеличение диаметра (на 24 %). Следовательно, адаптивная реакция на нефтехимическое загрязнение в отношении листьев стрессовая, а в отношении побегов – умеренно-стрессовая.

Из полученных результатов следует, что при нефтехимическом загрязнении и полиметаллическом на отвалах медно-колчеданной горнорудной промышленности происходит подавление ростовых процессов листьев. Это определяет общую тенденцию в направлении стрессовой адаптивной реакции, что указывает на низкий адаптивный потенциал березы к данным типам загрязнения. Но при аэротехногенном полиметаллическом загрязнении и полиметаллическом на буроугольных отвалах наблюдается активация роста практически всех морфологических параметров листьев и в этих условиях отмечается общее направление в сторону толерантной адаптивной реакции, что указывает на высокий адаптивный потенциал березы к данным типам загрязнения. В отличие от листьев в отношении побегов выявлено отсутствие единой направленности адаптивных реакций для каждого типа загрязнения, тем не менее можно заключить, что при нефтехимическом и аэротехногенном полиметаллическом загрязнении наблюдается уменьшение морфологических параметров и проявляется

стрессовая адаптивная реакция, а при полиметаллическом загрязнении в условиях отвалов медно-колчеданной и буроугольной горнорудной промышленности изменения отсутствуют и проявляется нейтральная адаптивная реакция. Таким образом, при аэротехногенном полиметаллическом загрязнении наблюдаются противоположные адаптивные реакции между листьями и побегами березы, при нефтехимическом загрязнении – согласованные адаптивные реакции, а при полиметаллическом загрязнении в условиях отвалов медно-колчеданной и буроугольной горнорудной промышленности – несвязанные.

Подавляющее большинство отечественных и зарубежных авторов (Аралбаева и др., 2009; Беляева, 2018; Бунькова, Абраменко, 2020; Влияние выбросов..., 2016; Завьялов, 2009; Котенко и др., 2023; Лукина, 2011; Неверова, 2002; Саркисянц, 2019; Турмухаметова, 2005; Уразильдин, 2021; Уразов и др., 2023; Tagirova, Kulagin, 2021; The bioindicative characteristics..., 2023; и др.) констатируют негативное воздействие техногенного загрязнения на морфологические параметры ассимиляционного аппарата древесных растений. Исследования, упоминающие положительные эффекты, крайне малочисленны (Бухарина и др., 2007; Легощина и др., 2016; The effects..., 2015). И в том, и в другом случае авторы делают заключение, что выявленные ими реакции являются адаптивными, однако их качественная оценка, т.е. в какую сторону направлена адаптация, остается нераскрытой. Также следует отметить, что исследователи анализируют, как правило, только один источник промышленного загрязнения, а сравнительная характеристика воздействия различных типов загрязнения на один и тот же древесный вид и качественная оценка выявленных адаптивных реакций отсутствуют. Полученные нами результаты показали, что все изученные типы загрязнения вызывают различные адаптивные изменения морфологических параметров листьев и побегов березы, во многих случаях имеющие противоположное направление как в пределах листьев, так и в пределах побегов. Такая относительная независимость реакций, когда в пределах одного органа наблюдаются одновременно неспецифические

и специфические реакции, свидетельствует о значительной реактивности березы к рассматриваемым стрессовым воздействиям. Кроме того, относительная независимость проявляется не только в пределах листьев и в пределах побегов, но и между листьями и побегами, при этом только в УЩ просматривается единая направленность в сторону стрессовой реакции одновременно у листьев и побегов, в остальных промышленных центрах реакция листьев всегда отличается от реакции побегов. Все наблюдаемые примеры относительной независимости адаптивных реакций свидетельствуют об экологической пластичности березы по отношению к разным типам загрязнения. Качественная оценка выявленных адаптивных реакций позволяет рекомендовать воздержаться от использования березы повислой для создания искусственных защитных насаждений при нефтехимическом загрязнении и полиметаллическом в условиях отвалов вскрышных пород медно-колчеданной горнорудной промышленности, а в условиях аэротехногенного полиметаллического загрязнения и полиметаллического в условиях отвалов вскрышных пород бурогоугольной горнорудной промышленности, наоборот, стоит рассматривать данную породу для лесовосстановления и создания буферных зон.

Выводы

1. Нефтехимическое загрязнение и полиметаллическое на отвалах медно-колчеданной горнорудной промышленности подавляет ростовые процессы листьев березы (до 27 и до 7 % соответственно), вызывая стрессовые адаптивные реакции, что указывает на низкий адаптивный потенциал березы к данным типам загрязнения.

2. Полиметаллическое аэротехногенное загрязнение и полиметаллическое на бурогоугольных отвалах способствует активации роста практически всех морфологических параметров листьев (до 15 % в СПЦ, до 11 % в КМК и до 33 % в КБР), вызывая толерантные адаптивные реакции, что указывает на высокий адаптивный потенциал березы к данным типам загрязнения.

3. В отличие от листьев у побегов при нефтехимическом и полиметаллическом аэротехногенном загрязнении наблюдается уменьшение морфологических параметров (до 22 % в УЩ, до 33 % в СПЦ и до 67 % в КМК) и проявляется стрессовая адаптивная реакция, а в условиях медно-колчеданных и бурогоугольных отвалов изменения отсутствуют и проявляется нейтральная адаптивная реакция.

4. При полиметаллическом аэротехногенном загрязнении наблюдаются противоположные адаптивные реакции между листьями и побегами березы, при нефтехимическом загрязнении – согласованные, а в условиях медно-колчеданных и бурогоугольных отвалов – несвязанные.

5. Показана относительная независимость адаптивных реакций морфологических параметров в пределах листьев, в пределах побегов, а также между листьями и побегами.

6. Следует воздержаться от использования березы для создания искусственных защитных насаждений при нефтехимическом загрязнении и в условиях отвалов медно-колчеданной горнорудной промышленности, а при аэротехногенном полиметаллическом загрязнении и в условиях бурогоугольных отвалов, наоборот, стоит рассматривать данную породу как перспективную.

Список источников

- Аралбаева Л. С., Уразгильдин Р. В., Кулагин А. Ю. Оценка относительного жизненного состояния и стабильности развития березы повислой (*Betula pendula* Roth) города Салават // Вестник ОГУ. 2009. № 6. С. 39–42.
- Беляева Ю. В. Эколого-биологическая оценка состояния *Betula pendula* Roth в городских насаждениях (на примере г. Тольятти) : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Беляева Ю. В. Тольятти, 2018. С. 171–172.
- Бунькова Н. П., Абраменко В. В. Оценка качества среды в городском лесопарке методом флукутирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Леса России и хозяйство в них. 2020. № 1 (72). С. 54–64.

- Бухарина И. Л., Ведерников К. Е., Поварнищина Т. М. К вопросу о влиянии техногенной среды на формирование и биохимический состав годичного побега древесных растений // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2007. № 2. С. 145–148.
- Влияние выбросов Карабашского медеплавильного комбината (Южный Урал) на размер и флуктуирующую асимметрию листа подроста / Д. В. Веселкин, Н. Б. Куянцева, О. Е. Чащина, Е. В. Коротеева // Растительные ресурсы. 2016. Т. 52. Вып. 1. С. 109–124.
- Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды республики Башкортостан в 2022 году. Уфа : Самрау, 2023. 319 с.
- Завьялов К. Е. Состояние искусственных насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения : автореф. дис. ... канд. с-х. наук : 06.03.03 / Завьялов К. Е. Екатеринбург, 2009. 24 с.
- Котенко Д. А., Волкова Д. С., Федорова Д. Е. Флуктуирующая асимметрия листа древесных растений как показатель устойчивости организмов к действию экологических факторов // Вестник СНО ДОННУ. 2023. Вып. 15. Т. 1: Естественные науки. С. 53–62.
- Легощина О. М., Неверова О. А., Быков А. А. Оценка ростовых процессов у древесных растений в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово // Бюллетень науки и практики. 2016. № 5. С. 14–19.
- Лукина Ю. М. Влияние техногенного загрязнения комбината «Североникель» на рост и развитие древесных растений: на примере *Betula Czerepanovii* Orlova : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Лукина Ю. М. Петрозаводск, 2011. 177 с.
- Неверова О. А. Морфометрическая и дендрохронологическая диагностика состояния древесных насаждений как способ индикации загрязнения урбанизированной среды // Успехи современного естествознания. Биологические науки. 2002. № 1. С. 57–64.
- Реферат по итогам оказания услуг по осуществлению регулярных наблюдений химического загрязнения атмосферного воздуха на территории города Карабаша, где нет государственной наблюдательной сети. Челябинск : Филиал ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по Челябинской области, 2022. 6 с.
- Саркисянц Л. О. Исследование морфологического звена адаптивной реакции березы повислой (*Betula pendula*) на техногенно измененную среду обитания (на примере города Владикавказа, РСО-АЛАНИЯ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 1. С. 135–140.
- Тахтаджян А. А. Высшие растения. Т. 1. М. ; Л. : АН СССР, 1956. 488 с.
- Турмухаметова Н. В. Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth и *Tilia cordata* Mill. в условиях городской среды : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Турмухаметова Н. В. Новосибирск, 2005. 278 с.
- Уразгильдин Р. В. Лесообразующие виды Предуралья в условиях техногенеза: сравнительная эколого-биологическая характеристика, видоспецифичность, адаптивные реакции, адаптивные стратегии : дис. ... д-ра биол. наук : 06.03.02 / Уразгильдин Р. В. Уфа, 2021. С. 147–148.
- Уразов П. Н., Демидова А. В., Уразова А. Ф. Использование метода флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой для оценки качества среды в защитных лесных полосах // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3 (86). С. 14–20.
- Флора СССР. Т. 1 / под ред. М. М. Ильина. Л. : АН СССР, 1934. 300 с.
- Tagirova O. V., Kulagin A. Yu. Morphological Changes of Leaves of Birch (*Betula pendula* Roth) During the Growing Season in the Conditions of Petrochemical Pollution of the Environment // IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science. 2021. Article 012039. URL: <https://www.researchgate.net/> (дата обращения: 01.04.2024).

The bioindicative characteristics of the *Betula pendula* Roth species in the dendrocenoses of the solid household waste landfill's influence zone / *T. Fedoniuk, V. Pazych, Z. Korzh* [et al.] // *Scientific Horizons*. 2023. № 26 (12). P. 64–75.

The effects of short- and long-term air pollutants on plant phenology and leaf characteristics / *S. Jochner, I. Markevych, I. Beck* [et al.] // *Environmental Pollution*. 2015. Vol. 206. P. 382–389.

References

Abstract on the results of the provision of services for the implementation of regular observations of chemical air pollution in the territory of the Karabash city, where there is no state monitoring network. Chelyabinsk : Branch of the FSBI “TsLATI in the UFD” in the Chelyabinsk region, 2022. 6 p.

Aralbaeva L. S., Urazgildin R. V., Kulagin A. Yu. Assessment of the relative life state and stability of the development of birch (*Betula pendula* Roth) of the Salavat city // *Bulletin OSU*. 2009. № 6. P. 39–42. (In Russ.)

Belyaeva Yu. V. Ecological and biological assessment of the state of *Betula pendula* Roth in urban plantations (on the example of Togliatti) : dis.... Candidate of Biological Sciences : 03.02.08 / *Belyaeva Yu. V. Togliatti*, 2018. P. 171–172. (In Russ.)

Bukharina I. L., Vedernikov K. E., Povarnitsina T. M. To the question of the influence of the technogenic environment on the formation and biochemical composition of the annual shoot of woody plants // *Bulletin of Izhevsk State Technical University*. 2007. № 2. P. 145–148. (In Russ.)

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). P. 54–64. (In Russ.)

Flora of the USSR. T. 1 / Ed. *M. M. Ilyina*. Leningrad : Academy of Sciences of the USSR, 1934. 300 p.

Kotenko D. A., Volkova D. S., Fedorova D. E. Fluctuating asymmetry of a leaf of woody plants as an indicator of the resistance of organisms to environmental factors // *Bulletin SNO DONNU*. 2023. № 15. Vol. 1 : Natural sciences. P. 53–62. (In Russ.)

Legoshchina O. M., Neverova O. A., Bykov A. A. Assessment of growth processes in woody plants under the prevailing influence of emissions from the Kemerovo industrial zone // *Bulletin of Science and Practice*. 2016. № 5. P. 14–19. (In Russ.)

Lukina Yu. M. The impact of technogenic pollution of the Severonickel plant on the growth and development of woody plants: on the example of *Betula Czerepanovii* Orlova : dis. ... Candidate of Biological Sciences : 03.02.08 / *Lukina Yu. M. Petrozavodsk*, 2011. 177 p.

Neverova O. A. Morphometric and dendrochronological diagnostics of the state of tree plantations as a way to indicate pollution of the urbanized environment // *Successes of modern natural science. Biological sciences*. 2002. № 1. P. 57–64. (In Russ.)

Sarkisyants L. O. Study of the morphological link of the adaptive reaction of birch (*Betula pendula*) to a technologically altered habitat (on the example of the city of Vladikavkaz, North Ossetia-ALANIA) // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019. № 1. P. 135–140. (In Russ.)

State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan in 2022. Ufa : Samrau, 2023. 319 p.

Tagirova O. V., Kulagin A. Yu. Morphological Changes of Leaves of Birch (*Betula pendula* Roth) During the Growing Season in the Conditions of Petrochemical Pollution of the Environment // *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science*. 2021. Article 012039. URL: <https://www.researchgate.net/> (accessed 01.04.2024).

- Takhtadzhyan A. A.* Higher plants. Vol. 1. Moscow ; Leningrad : USSR Academy of Sciences, 1956. 488 p.
- The bioindicative characteristics of the *Betula pendula* Roth species in the dendrocenoses of the solid household waste landfill's influence zone / *T. Fedoniuk, V. Pazych, Z. Korzh* [et al.] // *Scientific Horizons*. 2023. № 26 (12). P. 64–75.
- The effects of short- and long-term air pollutants on plant phenology and leaf characteristics / *S. Jochner, I. Markevych, I. Beck* [et al.] // *Environmental Pollution*. 2015. Vol. 206. P. 382–389.
- Turmukhametova N. V.* Features of the morphogenesis of shoots and phenorhythms of *Betula pendula* Roth and *Tilia cordata* Mill. in an urban environment : dis. ... Candidate of Biological Sciences : 03.00.16 / *Turmukhametova N. V.* Novosibirsk, 2005. 278 p.
- Urazgildin R. V.* Forest-forming species of the Urals in conditions of technogenesis: comparative ecological and biological characteristics, species-specific, adaptive reactions, adaptive strategies : dis. ... Doctor of Biological Sciences: 06.03.02 / *Urazgildin R. V.* Ufa, 2021. P. 147–148. (In Russ.)
- Urazov P. N., Demidova A. V., Urazova A. F.* Using the method of fluctuating asymmetry of hanging birch leaves to assess the quality of the environment in protective forest strips // *Forests of Russia and economy in them*. 2023. № 3 (86). P. 14–20. (In Russ.)
- Impact of emissions from the Karabash copper smelter (South Urals) on the size and fluctuating asymmetry of the undergrowth leaf / *D. V. Veselkin, N. B. Kuyantseva, O. E. Chashina, V. Koroteeva* // *Plant resources*. 2016. Vol. 52. № 1. P. 109–124. (In Russ.)
- Zavyalov K. E.* The state of artificial plantations of birch (*Betula pendula* Roth) under conditions of magnesite pollution : autoref. dis. ... Candidate of Agricultural Sciences : 06.03.03 / *Zavyalov K. E.* Yekaterinburg, 2009. 24 p.

Информация об авторах

Р. Р. Галимов – аспирант;

А. А. Уразбахтин – аспирант;

Р. В. Уразгильдин – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ученый секретарь.

Information about the authors

R. R. Galimov – postgraduate student;

A. A. Urazbakhtin – postgraduate student;

R. V. Urazgildin – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Scientific Secretary.

Статья поступила в редакцию 12.04.2024; принята к публикации 10.09.2024.

The article was submitted 12.04.2024; accepted for publication 10.09.2024.
