

УДК 574.24

DOI: 10.31040/2222-8349-2024-0-3-44-52

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХВОИ И ПОБЕГОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

© А.А. Уразбахтин, Р.Р. Галимов, Р.В. Уразгильдин

Обзор публикаций отечественных и зарубежных авторов указывает на полиморфизм адаптивных реакций морфологических параметров ассимиляционного аппарата древесных растений, выявленный исследователями в ответ на различные типы промышленного загрязнения. Однако в этих исследованиях отсутствует сравнительная характеристика выявленных адаптивных реакций при разных типах загрязнения, а главное – отсутствует их качественная оценка, при том, что все авторы указывают на безусловно адаптивный характер выявленных ими реакций. Эти положения послужили обоснованием цели данной работы. Объект исследования – сосна обыкновенная, широко распространенный лесообразователь Южно-Уральского региона, хвоя которой служит хорошим всесезонным биоиндикатором. В качестве промышленных полигонов послужили пять промцентров с различными типами загрязнения: три с аэротехногенным и два – отвалы вскрышных пород горнодобывающей промышленности. Результаты исследований показали, что нефтехимическое загрязнение и полиметаллическое на отвалах медно-колчеданной горнорудной промышленности подавляют ростовые процессы хвои сосны, и в этих условиях прослеживается общее направление в сторону «стрессовой» адаптивной реакции, что свидетельствует о низком адаптивном потенциале сосны к данным типам загрязнения, а при аэротехногенном полиметаллическом загрязнении и полиметаллическом на отвалах бурогоугольной горнорудной промышленности наблюдается стимуляция роста хвои и прослеживается общее направление в сторону «толерантной» адаптивной реакции, что свидетельствует о высоком адаптивном потенциале сосны к данным типам загрязнения. Реакции морфологических параметров побегов являются неоднозначными по сравнению с хвоей, но в целом можно говорить о закономерности – наличии противоположных адаптивных реакций у хвои и побегов на один и тот же тип загрязнения. Показана относительная независимость адаптивных реакций морфологических параметров хвои и побегов вне зависимости от типа загрязнения как в пределах органа, так и между органами, что характеризует пластичность сосны к разным типам загрязнения.

Ключевые слова: сосна, побеги, хвоя, промышленное загрязнение, Южно-Уральский регион, адаптивные реакции, сравнительная характеристика.

Введение. Стремительное развитие производственных мощностей в последние столетия все острее ставит вопрос о состоянии лесных экосистем, находящихся в условиях загрязнения промышленных предприятий. Южно-Уральский регион характеризуется наличием большого количества промышленных центров, каждый из которых имеет свою специфику производства и перечень загрязнителей в составе выбросов. Богатство региона полезными ископаемыми определило характер производства – основные производственные предприятия

заняты их добычей и переработкой. Леса являются эффективными фитофильтрами и способны абсорбировать множество различных загрязнителей, способствуя сохранению качества воздуха. Специфические комплексы загрязнителей неоднозначно влияют на растительные организмы, произрастающие в защитных насаждениях буферных зон предприятий. В публикациях последних лет имеются достаточно упоминаний как об отрицательном, так и положительном влиянии техногенеза на древесные растения, особенно – на морфологию

УРАЗБАХТИН Айтуган Айбулатович, Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН,
e-mail: urazbaxtin1998@mail.ru

ГАЛИМОВ Рамиль Раилович, Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН,
e-mail: ramil_galimov_98@mail.ru

УРАЗГИЛЬДИН Руслан Вилисович – д.б.н., Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН,
e-mail: urv@anrb.ru

ассимиляционного аппарата, непосредственно контактирующего с поллютантами. Основная масса отечественных и зарубежных исследователей указывают на значительное подавление ростовых процессов ассимиляционного аппарата и побегов древесных растений в условиях промышленного, автотранспортного загрязнения, в городских условиях [1–4]. Другие исследователи указывают на увеличение всех или только некоторых морфологических параметров ассимиляционного аппарата и побегов древесных видов, причем данный факт, как правило, зависит от типа промышленного загрязнения [5–8]. Указывается, что обнаруживаются противоположные реакции на действие одного и того же стрессового фактора у чувствительных и толерантных деревьев одного вида [9]. Однако практически отсутствуют сравнительная характеристика влияния различных типов промышленного загрязнения на морфологические параметры древесных растений и качественная оценка выявленных адаптивных реакций. Данными положениями обусловлена **цель работы** – сравнительная оценка воздействия различных типов аэротехногенного загрязнения и отвалов горнорудной промышленности в условиях Южно-Уральского региона на морфологические параметры хвои и побегов сосны обыкновенной.

Районы, объект и методика исследования. Районы исследования – пять промышленных центров Южноуральского региона, характеризующихся разными типами промышленного загрязнения (табл. 1) [10–11]:

Стерлитамакский промышленный центр (СПЦ) – полиметаллическое загрязнение. Основные загрязнители: полиметаллическая пыль в составе взвешенных веществ, диоксид серы, диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, бензапирен и др. Основные предприятия, влияющие на экологическую ситуацию в промышленном центре – химические и нефтехимические (АО «Башкирская содовая компания», ОАО «Синтез-Каучук») предприятия электроэнергетики (Стерлитамакская ТЭЦ и Ново-Стерлитамакская ТЭЦ), а также филиал ООО «ХайдельбергЦементРус», ООО «Газпром газораспределение Уфа».

Карабашский медеплавильный комбинат (КМК) – полиметаллическое загрязнение в сочетании с сернистым ангидридом. Основные загрязнители: полиметаллическая аэрозоль,

сернистый ангидрид, оксид азота, оксид углерода, оксид меди, оксид цинка, соединения железа и др. Основной загрязнитель атмосферы города – АО «Карабашмедь».

Уфимский промышленный центр (УПЦ) – нефтехимическое загрязнение. Основными загрязнителями являются оксид углерода, бензапирен, оксид и диоксид азота, оксид и диоксид серы, взвешенные вещества и др. Основные предприятия, влияющие на экологическую ситуацию в промышленном центре – нефтеперерабатывающие («Башнефть-Уфанефтехим», «Башнефть-Уфимский НПЗ», «Башнефть-Новыйл»), химическая (ПАО «Уфаоргсинтез»), нефтедобывающая (ООО «Башнефть-добыча»), машиностроение и металлообработка (ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение») и др.

Учалинский горно-обогатительный комбинат (УГОК) – полиметаллическое загрязнение в условиях отвалов вскрышных пород медноколчеданной горнорудной промышленности. Основными загрязнителями являются газоаэрозольные и пылевые выбросы, в составе которых присутствуют тяжелые металлы (Cu, Zn, Hg, Fe, Mn и др.), сульфаты. Основное предприятие, относящееся к цветной металлургии, влияющее на экологическую ситуацию в промышленном центре АО «Учалинский горно-обогатительный комбинат». К другим предприятиям, имеющим стационарные источники загрязнения атмосферного воздуха, относятся: ООО «Завод Техноплекс», ООО «Завод Николь – Пак», МУП «Учалыводоканал», ОАО «Учалинские тепловые сети», филиал ООО «Газпром газораспределение Уфа».

Кумертауский бурогольный разрез (КБР) – полиметаллическое загрязнение в условиях отвалов вскрышных пород бурогольного разреза. Основными загрязнителями являются пылевые выбросы, в составе которых присутствуют тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ca, Mn и др.), формальдегид, оксид углерода, диоксид азота, аммиак. Кроме отвалов вскрышных пород горнорудной промышленности, предприятиями, влияющими на экологическую ситуацию в промышленном центре, являются АО «Свердловская энергогазовая компания», Кумертауская ТЭЦ.

В каждом районе исследований в соответствии с розой ветров были условно выделены зона сильного загрязнения и контроль (рис. 1).

Характеристика загрязнения выбросами в 2018–2022 гг.

| Промцентр | | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. |
|---|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Объем валовых выбросов от стационарных источников, тыс. т | | | | | | |
| УПЦ | | 130.2 | 175.6 | 141.5 | 136.6 | 132.3 |
| СПЦ | | 45.8 | 48.1 | 51.0 | 52.2 | 51.4 |
| УГОК | | – | 2.6 | 2.6 | 2.6 | – |
| КБР | | 7.3 | 6.9 | 8.4 | 11.2 | 7.1 |
| Наибольшие уровни загрязнения среднесуточными значениями, ПДК | | | | | | |
| КМК | Диоксид серы | 0.73 | 0.66 | 3.7 | 10.8 | 3.02 |
| | Взвешенные вещества | 0.93 | 0.93 | 2.5 | 8.7 | 0.48 |
| | Свинец | 1.1 | 2.8 | 3.46 | 25.5 | 5.3 |
| | Медь | 0.95 | 0.36 | 0.52 | 4.77 | 0.65 |
| | Железо | 1.6 | 0.37 | 0.52 | 1.46 | 1.8 |

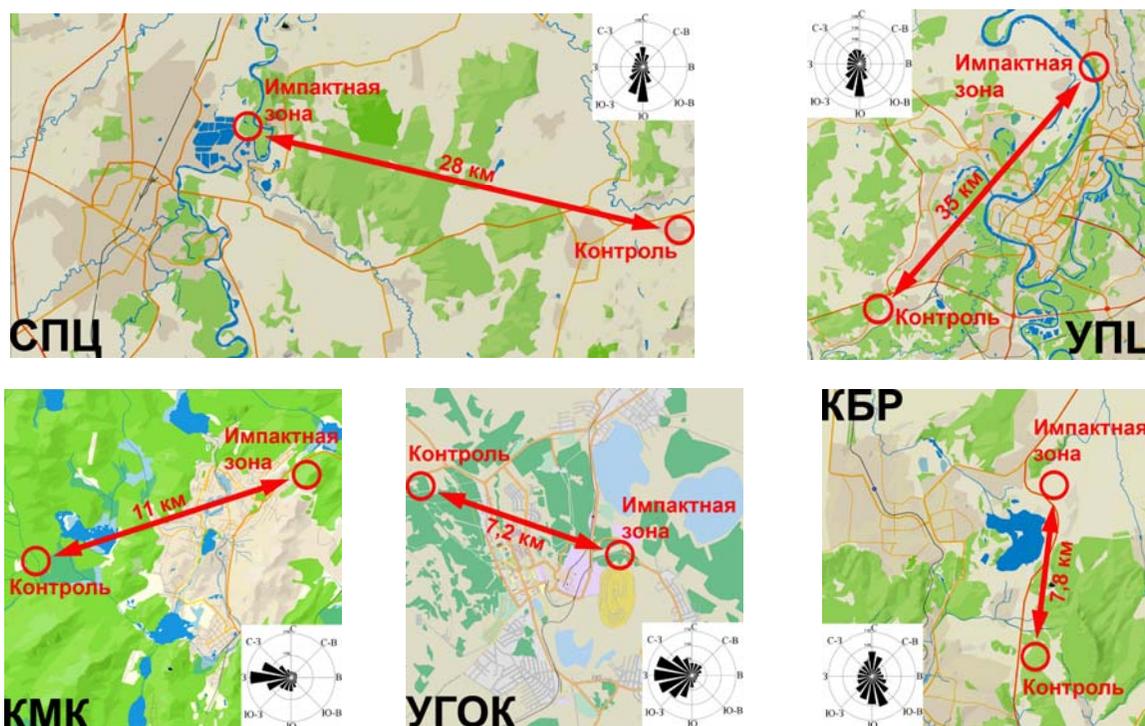


Рис. 1. Схемы расположения пробных площадей в условиях загрязнения и контроля в промышленных центрах Южно-Уральского региона (использованы Яндекс-карты) с годовой розой ветров (<https://ru.meteocast.in>) для каждого промцентра

Объект исследования – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является лесообразователем Южно-Уральского региона с широким ареалом естественного распространения, характеризуется высокой энергией роста и неприхотлива к условиям произрастания – как к климату, так и к плодородию почвы [12–14]. Хвоя сосны обыкновенной может считаться универсальным биоиндикатором, поскольку характеризуется не только выраженными аккумулятивными свойствами по отношению к органическому и неорганическому загрязнителям,

но и является по существу всесезонным тест-объектом.

Из табл. 2 видно, что значительные различия по таксационным показателям между промышленной зоной и контролем наблюдаются только на отвалах вскрышных пород УГОК и КБР. Это объясняется тем, что естественное зарастание отвалов началось в конце прошлого столетия после прекращения отсыпки грунтов, поэтому в условиях контроля отсутствуют древостои, близкие по возрасту. В КМК, УПЦ и СПЦ подбор древостоев выполнен корректно.

Краткая таксационная характеристика древостоев сосны обыкновенной в условиях различных типов загрязнения Южно-Уральского региона

| Промцентр | Местоположение и формула древостоя | А ср, лет | Д ср, см | Н ср, м | Полнота |
|-----------|------------------------------------|-----------|----------|---------|---------|
| КМК | Загрязнение, 9С1Б | 78 | 24 | 23 | 0.9 |
| | Контроль, 8С2Б | 71 | 22 | 25 | 0.8 |
| УПЦ | Загрязнение, 7С3Кл ед. В | 63 | 22 | 26 | 0.8 |
| | Контроль, 8С2Кл+В ед. | 76 | 22 | 25 | 0.8 |
| СПЦ | Загрязнение, 10С | 62 | 20 | 30 | 0.7 |
| | Контроль, 10С | 38 | 20 | 25 | 0.9 |
| УГОК | Загрязнение, 5С5Б | 35 | 12 | 14 | 0.6 |
| | Контроль, 10С+Б | 55 | 24 | 28 | 0.9 |
| КБР | Загрязнение, 7С3Б | 28 | 14 | 18 | 0.8 |
| | Контроль, 10С | 47 | 22 | 28 | 0.7 |

Хвоя текущего года генерации для морфологических исследований собиралась с нижней части кроны южной экспозиции дерева во второй половине вегетационного периода (конец июля) после окончания формирования хвои с последующей гербаризацией (минимум 60 образцов). В лабораторных условиях у образцов измерялись следующие параметры: масса абсолютно сухих побегов и укороченных побегов с двумя хвоинками (мг), длина хвои (мм), ширина хвои (мм), толщина хвои (мм), площадь хвои (мм²). Длину и диаметр побегов текущего года генерации (мм) измеряли на отобранных побегах непосредственно в полевых условиях после очистки от хвои, повторность – минимум 20 побегов. Длину, ширину, толщину хвои и длину, диаметр побегов определяли при помощи штангенциркуля с точностью до 0.01 мм. Масса абсолютно сухих хвойных побегов и укороченных побегов определялась на высокоточных электронных весах Diamond с точностью до 0,001 грамм.

Для вычисления площади хвоинки сосны использована формула Л.А. Иванова [15]:

$$S = 5,14 \times l \times \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{4} \right),$$

где 5,14 – постоянный коэффициент, полученный опытным путем; l – длина хвоинки, мм; a – толщина хвоинки на ее середине, мм; b – ширина хвоинки на ее середине, мм.

При качественном определении адаптивных реакций использована классификация и методика, предложенная Р.В. Уразгильдиным [16]. В дендрэкологии «классическими» адаптивными реакциями древесных растений на

усиление степени промышленного загрязнения принято считать уменьшение морфологических параметров хвои и побегов (длины, ширины, площади, массы и др.), поэтому такие изменения, значительные и статистически достоверные, относили к «стрессовым» адаптивным реакциям, противоположные изменения относили к «толерантным» адаптивным реакциям, а реакции, выраженные незначительно или статистически недостоверно – к «умеренно-стрессовым» и «умеренно-толерантным». Статистическая обработка полученных данных проводилась общепринятыми в биологических науках методами [17] с применением пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2010, Statistica 6.0.

Результаты исследования и обсуждение.

Оценка изменения морфологических параметров хвои и побегов в различных типах загрязнения Южноуральского региона показала поливариантность адаптивных реакций (рис. 2):

– масса хвои увеличивается относительно контроля в СПЦ значительно и достоверно, в КМК незначительно и достоверно, в КБР незначительно и недостоверно, но уменьшается в УГОК значительно и достоверно, в УПЦ незначительно и недостоверно;

– длина хвои значительно и достоверно увеличивается относительно контроля в СПЦ и КБР, но значительное и достоверно уменьшается в УПЦ и УГОК; в КМК изменения отсутствуют;

– ширина хвои увеличивается относительно контроля в условиях УПЦ значительно и достоверно, в КМК незначительно и достоверно, но незначительно и достоверно уменьшается в СПЦ и УГОК; в КБР изменения отсутствуют;

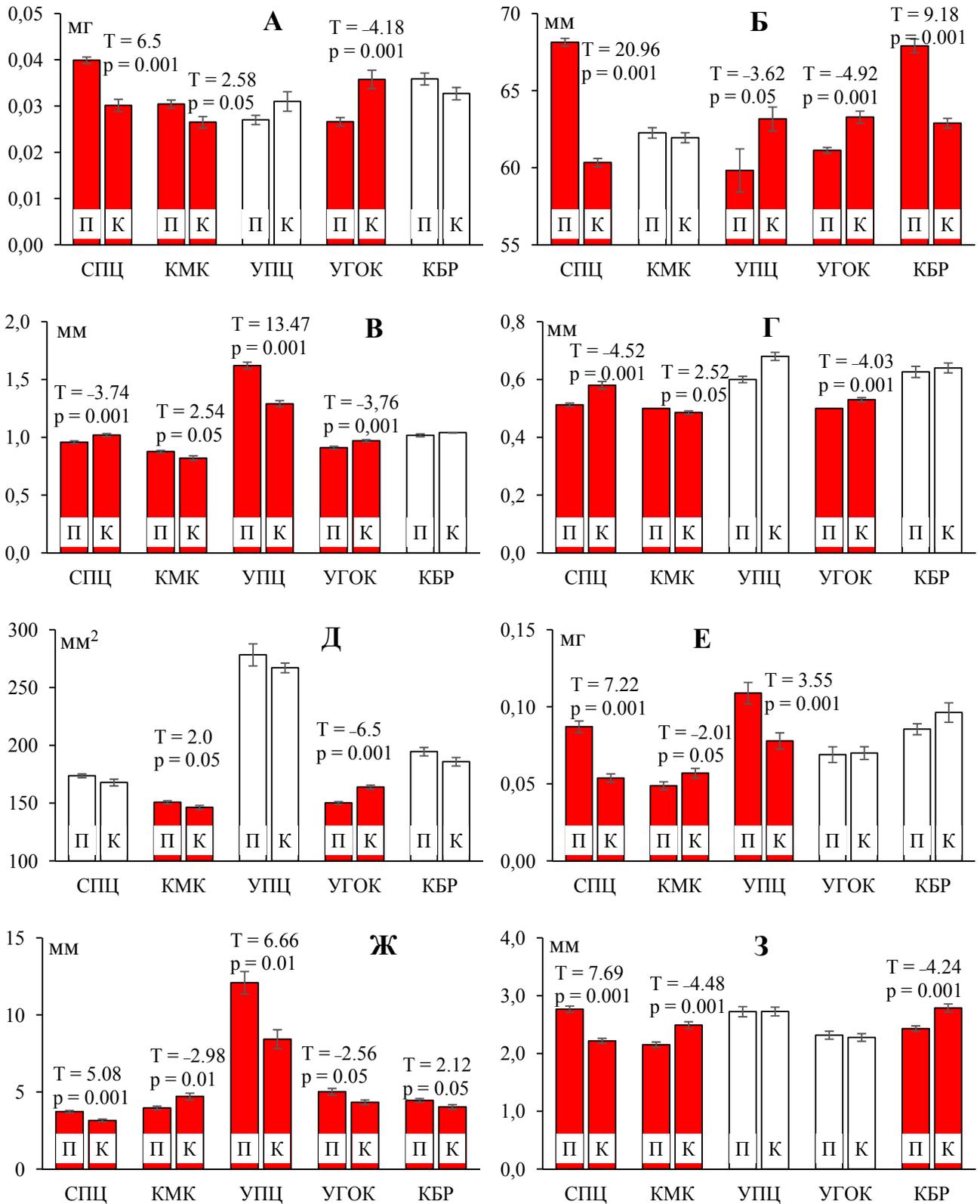


Рис. 2. Влияние различных типов загрязнения на морфологию хвои (масса (А), длина (Б), ширина (В), толщина (Г), площадь (Д)) и побегов (масса (Е), длина (Ж) диаметр (З)). Условные обозначения: П – пром-зона, К – контроль, ■ ■ – значения, достоверно различающиеся по критерию Стьюдента, T – критерий Стьюдента, p – уровень значимости

– толщина хвои незначительно и достоверно увеличивается относительно контроля в условиях КМК, но уменьшается в СПЦ и УГОК незначительно и достоверно, в УПЦ незначительно и достоверно; в КБР изменения отсутствуют;

– площадь хвои увеличивается относительно контроля в условиях КМК незначительно и достоверно, в СПЦ, УПЦ и КБР незначительно и достоверно, но значительно и достоверно уменьшается в УГОК;

– масса побегов значительно и достоверно увеличивается относительно контроля в условиях СПЦ и УПЦ, но уменьшается в КМК незначительно и достоверно, в КБР незначительно и недостоверно; в УГОК изменения отсутствуют;

– длина побегов увеличивается относительно контроля в условиях УПЦ значительно и достоверно, в СПЦ, УГОК и КБР незначительно и достоверно, но незначительно и достоверно уменьшается в КМК;

– диаметр побегов значительно и достоверно увеличивается относительно контроля в условиях СПЦ, но значительно и достоверно уменьшается в КМК и КБР; в УПЦ и УГОК изменения отсутствуют.

Полученные данные позволили классифицировать адаптивные реакции морфологических параметров хвои и побегов в различных типах загрязнения Южно-Уральского региона (табл. 3) и показать их относительную независимость.

В СПЦ при увеличении массы, длины и площади хвои наблюдается уменьшение ее ширины и толщины (происходит «вытягивание и утоньшение» хвои); у побегов наблюдается значительный рост всех морфологических параметров. Следовательно, адаптивная реакция на полиметаллическое загрязнение в отношении

хвои «умеренно-толерантная», а в отношении побегов – «толерантная».

В КМК незначительно увеличивается масса, толщина, ширина и площадь хвои при отсутствии изменений ее длины (происходит «утолщение» хвои); у побегов наблюдается подавление роста всех морфологических параметров. Следовательно, адаптивная реакция на полиметаллическое загрязнение с сернистым ангидридом в отношении хвои «умеренно-толерантная» а в отношении побегов – «умеренно-стрессовая».

В УПЦ при уменьшении массы, длины, толщины хвои значительно увеличивается его ширина, и незначительно площадь (хвоя укорачивается, но становится шире); у побегов значительно увеличиваются масса и длина, но диаметр не изменяется. Следовательно, адаптивная реакция на нефтехимическое загрязнение в отношении хвои «умеренно-стрессовая» а в отношении побегов – «толерантная».

В УГОК наблюдается значительное подавление всех ростовых процессов хвои; у побегов при незначительном увеличении длины масса и диаметр остаются неизменными. Следовательно, адаптивная реакция хвои сосны на отвалах медно-колчеданных руд «стрессовая», в отношении побегов – «нейтральная».

В КБР при отсутствии изменений ширины и толщины хвои наблюдается увеличение ее массы, длины и площади (происходит «вытягивание» хвои); у побегов незначительно увеличивается длина, но уменьшается масса и диаметр. Следовательно, адаптивная реакция хвои сосны на бурогольных отвалах «умеренно-толерантная», а в отношении побегов – «умеренно-стрессовая».

Т а б л и ц а 3

Адаптивные реакции морфологических параметров хвои и побегов сосны обыкновенной при различных типах загрязнения в условиях Южно-Уральского региона

| Промцентр | Хвоя | | | | | Побеги | | |
|-----------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|-------|---------|
| | Масса | Длина | Ширина | Толщина | Площадь | Масса | Длина | Диаметр |
| СПЦ | ↑↑ | ↑↑ | ↓ | ↓ | ↑ | ↑↑ | ↑ | ↑↑ |
| КМК | ↑ | (–) | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓↓ |
| УПЦ | ↓ | ↓↓ | ↑↑ | ↓ | ↑ | ↑↑ | ↑↑ | (–) |
| УГОК | ↓↓ | ↓↓ | ↓ | ↓ | ↓↓ | (–) | ↑ | (–) |
| КБР | ↑ | ↑↑ | (–) | (–) | ↑ | ↓ | ↑ | ↓↓ |

Условные обозначения изменения морфологических параметров в промцентрах относительно контроля: ↑↑ – значительное и достоверное увеличение; ↑ – незначительное или недостоверное увеличение; (–) – изменения отсутствуют; ↓ – незначительное или недостоверное уменьшение; ↓↓ – значительное и достоверное уменьшение.

Таким образом, нефтехимическое загрязнение и полиметаллическое на отвалах медноколчеданных руд подавляют ростовые процессы хвои и в этих условиях прослеживается общее направление в сторону стрессовой адаптивной реакции, что свидетельствует о низком адаптивном потенциале сосны к данным типам загрязнения, а при аэротехногенном полиметаллическом загрязнении и полиметаллическом на бурогольных отвалах наблюдается стимуляция роста тех или иных морфологических параметров хвои и в этих условиях прослеживается общее направление в сторону толерантной адаптивной реакции, что свидетельствует о высоком адаптивном потенциале сосны к данным типам загрязнения. Реакции морфологических параметров побегов на разные типы загрязнений являются неоднозначными по сравнению с хвоей: в КМК и КБР ростовые процессы подавляются и в этих условиях прослеживается общее направление в сторону стрессовой адаптивной реакции, а в СПЦ и УПЦ наблюдается стимуляция роста тех или иных морфологических параметров побегов и в этих условиях прослеживается общее направление в сторону толерантной адаптивной реакции; в УГОК изменения отсутствуют. В целом можно говорить о выявленной закономерности – наличии противоположных адаптивных реакций у хвои и побегов на один и тот же тип загрязнения.

Публикации отечественных и зарубежных авторов [1–9] указывают на полиморфизм адаптивных реакций морфологических параметров ассимиляционного аппарата древесных растений, выявленный исследователями в ответ на различные типы промышленного загрязнения. Однако в этих исследованиях отсутствует сравнительная характеристика выявленных адаптивных реакций при разных типах загрязнения, а главное – отсутствует их качественная оценка, при том, что все авторы указывают на безусловно адаптивный характер выявленных ими реакций. Наши результаты также показали, что все исследованные типы загрязнения вызывают неоднозначные адаптивные изменения морфологических параметров хвои и побегов сосны, при этом только в СПЦ наблюдается односторонняя толерантная реакция у хвои и побегов, в остальных промцентрах реакция хвои всегда отличается от реакции побегов. Это свидетельствует о наличии относительной независимости реакций морфологических параметров, когда в пределах одного органа исследуемые

процессы идут в разных направлениях. В нашем случае относительная независимость проявляется не только в пределах одного органа, но и между органами (хвоей и побегами), что говорит об экологической пластичности сосны по отношению к разным типам загрязнения. Качественная оценка выявленных реакций позволяет рекомендовать использование сосны для создания защитных насаждений в тех условиях загрязнения, где у нее проявляются толерантные адаптивные реакции и высокий адаптивный потенциал и отказаться от ее использования в условиях, где проявляются стрессовые адаптивные реакции и низкий адаптивный потенциал.

Работа выполнена на базе ЦКП «Агидель».

Литература

1. Wronska-Pilarek D., Krysztofiak-Kaniewska A., Matusiak K., Bocianowski J., Wiatrowska B., Okonski B. Does distance from a sand mine affect needle features in *Pinus sylvestris* L.? // *Forest Ecology and Management*. 2023. Vol. 546. Article 121276.
2. Kalugina O.V., Afanasyeva L.V., Mikhailova T.A. Anatomical and morphological changes in *Pinus sylvestris* and *Larix sibirica* needles under impact of emissions from a large aluminum enterprise // *Ecotoxicology*. 2024. Vol. 33. P. 66–84.
3. Лукина Н.В., Бажин Д.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А. Изменение анатомо-морфологических показателей *Pinus sylvestris* L., в условиях серпентинитового карьера // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*. 2021. Т. 20. № 1. С. 274–278.
4. Тулешова К.А., Қали А.К., Қыздарова Д.К., Кейкин Е.К. Изучение морфологической изменчивости листьев *Pinus sylvestris*, собранной на территории Карагандинской области // *Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География»*. 2022. № 3(107). С. 136–142.
5. Kosiba P. Variability of morphometric leaf traits in small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) under the influence of air pollution // *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2008. Vol. 77. Iss. 2. P. 25–137.
6. Qadir S.U., Raja V, Siddiqui W.A. Morphological and biochemical changes in *Azadirachta indica* from coal combustion fly ash dumping site from a thermal power plant in Delhi, India // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 129. P. 320–328.
7. Легощина О.М. Оценка ростовых процессов у древесных растений в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово // *Бюллетень науки и практики*. 2016. Т. 5. С. 14–19.
8. Тужилкина В.В., Плюснина С.Н. Комплексная оценка состояния хвои *Piceae obovata* (Pinaceae)

в условиях аэротехногенного загрязнения // Растительные ресурсы. 2014. Т. 50(4). С. 579–586.

9. Chudzińska E., Celiński K., Pawlaczyk E.M., Wojnicka-Półtorak A., Diatta J.B. Trace element contamination differentiates the natural population of Scots pine: evidence from DNA microsatellites and needle morphology // Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23. P. 22151–22162.

10. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2022 году. Уфа: Самрау, 2023. 319 с.

11. 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.

12. Флора СССР. Т. 1 / Под ред. М.М. Ильина. Л.: АН СССР, 1934. 300 с.

13. Тахтаджян А.А. Высшие растения. Т. 1. М.-Л.: АН СССР, 1956. 488 с.

14. Сазонова Т.А. Болондинский В.К., Придача В.Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск: Verso, 2011. 206 с.

15. Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В. Методы изучения биологического круговорота в различных пригородных зонах. М.: Мысль, 1978. 183 с.

16. Уразгильдин Р.В. Лесобразующие виды Предуралья в условиях техногенеза: сравнительная эколого-биологическая характеристика, видоспецифичность, адаптивные реакции, адаптивные стратегии: Дисс. ... д-ра биол. наук. Уфа: УИБ УФИЦ РАН, 2021. 367 с.

17. Плохинский Н.А. Биометрия. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.

References

1. Wronska-Pilarek D., Krysztofiak-Kaniewska A., Matusiak K., Bocianowski J., Wiatrowska B., Okonski B. Does distance from a sand mine affect needle features in *Pinus sylvestris* L.? // Forest Ecology and Management, 2023, vol. 546, Article 121276.

2. Kalugina O.V., Afanasyeva L.V., Mikhailova T.A. Anatomical and morphological changes in *Pinus sylvestris* and *Larix sibirica* needles under impact of emissions from a large aluminum enterprise // Ecotoxicology, 2024, vol. 33, pp. 66-84.

3. Lukina N.V., Bazhin D.V., Filimonova E.I., Glazyrina M.A. Izmenenie anatomo-morfologicheskikh pokazatelej *Pinus sylvestris* L., v uslovijah serpentinitovogo kar'era // Problemy botaniki Juzhnoj Sibiri i Mongolii, 2021, vol. 20, no. 1, pp. 274-278.

4. Tuleshova K.A., Kali A.K., Kyzdarova D.K., Kejkin E.K. Izuchenie morfologicheskoy izmenchivosti

list'ev *Pinus sylvestris*, sobrannoj na territorii Karagandinskoj oblasti // Vestnik Karagandinskogo universiteta. Serija «Biologija. Medicina. Geografija», 2022, no. 3(107), pp. 136-142.

5. Kosiba P. Variability of morphometric leaf traits in small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) under the influence of air pollution // Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 2008, vol. 77, iss. 2, pp. 25-137.

6. Qadir S.U., Raja V., Siddiqui W.A. Morphological and biochemical changes in *Azadirachta indica* from coal combustion fly ash dumping site from a thermal power plant in Delhi. India // Ecotoxicology and Environmental Safety, 2016, vol. 129, pp. 320 – 328.

7. Legoshina O.M. Ocenka rostovyh processov u drevesnyh rastenij v uslovijah preobladajushhego vlijaniya vybrosov promzony g. Kemerovo // Bjulleten' nauki i praktiki, 2016, vol. 5, pp. 14-19.

8. Tuzhilkina V.V., Pljusnina S.N. Kompleksnaja ocenka sostojanija hvoi *Piceae obovata* (Pinaceae) v uslovijah ajerrotehnogennogo zagrjaznenija // Rastitel'nye resursy, 2014, vol. 50(4), pp. 579-586.

9. Chudzińska E., Celiński K., Pawlaczyk E.M., Wojnicka-Półtorak A., Diatta J.B. Trace element contamination differentiates the natural population of Scots pine: evidence from DNA microsatellites and needle morphology // Environmental Science and Pollution Research, 2016, vol. 23, pp. 22151-22162.

10. Gosudarstvennyj doklad o sostojanii prirodnyh resursov i okruzhajushhej sredy Respubliki Bashkortostan v 2022 godu. Ufa: «Samrau», 2023. 319 p.

11. Referat po itogam okazaniya uslug po osushhestvleniju reguljarnyh nabljudenij himicheskogo zagrjaznenija atmosfernogo vozduha na territorii goroda Karabasha, gde net gosudarstvennoj nabljudatel'noj seti. Cheljabinsk: Filial FGBU «CLATI po UFO» po Cheljabinskoj oblasti, 2022, 6 p.

12. Flora SSSR. vol. 1 / Pod red. M.M. Il'ina. Leningrad: AN SSSR, 1934, 300 p.

13. Tahtadzhjan A.A. Vysshie rastenija. vol. 1. Moskva-Leningrad: AN SSSR, 1956, 488 p.

14. Sazonova T.A. Bolondinskij V.K., Pridacha V.B. Jekologo-fiziologicheskaja harakteristika sosny obyknovЕННОj. Petrozavodsk: Verso, 2011, 206 p.

15. Bazilevich N.I., Titljanova A.A., Smirnov V.V. Metody izuchenija biologicheskogo krugovorota v razlichnyh prigorodnyh zonah. Moskva: Mysl', 1978, 183 p.

16. Urazgil'din R.V. Lesoobrazujushhie vidy Predural'ja v uslovijah tehnogeneza: sravnitel'naja jekologo-biologicheskaja harakteristika, vidospecifichnost', adaptivnye reakcii, adaptivnye strategii / diss. dokt. biol. nauk. Ufa: UIB UFIC RAN, 2021, 367 p.

17. Plohinskij N.A. Biometrija. 2-e izd. Moskva: Izd-vo MGU, 1970, 367 p.



**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF MORPHOLOGICAL PARAMETERS
OF PINE NEEDLES AND SHOOTS UNDER DIFFERENT TYPES OF POLLUTION
IN THE SOUTH URAL REGION**

© **A.A. Urazbahtin, R.R. Galimov, R.V. Urazgil'din**

Ufa Institute of biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre
of the Russian Academy of Sciences,
69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

A review of domestic and foreign authors publications indicates a polymorphism of adaptive reactions of woody plants assimilation apparatus morphological parameters, identified by researchers in response to various types of industrial pollution. However, in these studies there is no comparative characteristic of the identified adaptive reactions in different types of pollution, and most importantly, there is no qualitative assessment of them, despite the fact that all authors indicate the unconditionally adaptive nature of these reactions. These provisions served as a justification for the purpose of this work. The object of the study is pine, a widespread forest-former of the South Ural region, the needles of which serve as a good all-season bioindicator. Five industrial centers with different types of pollution served as industrial landfills: three with aerotechnogenic pollution and two – dumps of the mining industry. The results of the studies showed that petrochemical pollution and polymetallic pollution on the dumps of the copper-sulfur mining industry suppress the growth processes of pine needles and under these conditions there is a general direction towards a «stress» adaptive reaction, which indicates a low adaptive potential of pine for these types of pollution. In conditions of aerotechnogenic polymetallic contamination and polymetallic pollution on the dumps of the brown-coal mining industry the stimulation of the needles growth and a general direction towards a «tolerant» adaptive reaction are observed, which indicates a high adaptive potential of pine for these types of pollution. Reactions of morphological parameters of shoots are ambiguous compared to needles, but in general we can talk about regularity – the presence of opposite adaptive reactions in needles and shoots to the same type of pollution. The relative independence of needles and shoots morphological parameters adaptive reactions, regardless of the type of pollution both within the organ and between organs, is shown, which characterizes plasticity of pine to different types of pollution.

Keywords: pine, shoots, needles, industrial pollution, South Ural region, adaptive reactions, comparative characteristic.