

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-2-156-172

УДК 58.084.2:58.087:581.4:581.5

И.Е. Зыков¹, Л.В. Федорова²

¹ Государственный гуманитарно-технологический университет,
142611 Московская область, г. Орехово-Зуево, Российская Федерация

² Первый Московский государственный медицинский университет
имени И.М. Сеченова,
119991 г. Москва, Российская Федерация

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) как индикатор техногенного загрязнения окружающей среды Восточного Подмоскovie

Изучена реакция сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на техногенное загрязнение воздуха вблизи предприятий и автомобильных дорог городского округа Орехово-Зуево Московской области. Исследованы рост и развитие сосен 10–15-летнего возраста по состоянию ауксибластов и брахибластов. Отмечена неоднозначность реакции сосны обыкновенной на атмосферное загрязнение, которая проявляется как в уменьшении прироста в длину, так и компенсаторном его увеличении, при этом толщина побегов не обнаруживает зависимости от величины прироста. Установлено, что в сильно загрязненных местообитаниях плотность хвои имеет тенденцию к увеличению до 3,1–4,1 шт./см², а степень ее некротического повреждения и усыхания от 1/3 длины до полного возрастает до 43,2 и 61,5% соответственно. Среднегодовое количество ветвлений изменяется

© Зыков И.Е., Федорова Л.В., 2025

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



незначительно. Проведен анализ морфологических признаков сосны обыкновенной (плотности хвои на побеге предпоследнего года, средней продолжительности ее жизни, среднегодовой окружности и длины прироста главного и количества боковых побегов), позволяющий вычислить средний уровень техногенного загрязнения воздуха любого региона. Дана балльная оценка состояния окружающей среды по биометрическим параметрам сосны обыкновенной.

Ключевые слова: поллютанты, атмосферное загрязнение, биоиндикация, сосна обыкновенная, ауксисбасты, брахисбасты, плотность хвои, продолжительность жизни хвои

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зыков И.Е., Федорова Л.В. Сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.) как индикатор техногенного загрязнения окружающей среды Восточного Подмосковья // Социально-экологические технологии. 2025. Т. 15. № 2. С. 156–172. DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-2-156-172

DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-2-156-172

Original research

I.E. Zykov¹, L.V. Fedorova²

¹ State Humanitarian and Technological University,
Orehovo-Zuyevo, Moscow Region, 142611, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University,
Moscow, 119991, Russian Federation

Scots pine (*Pinus silvestris* L.) as an indicator of manmade environmental pollution of the Eastern Moscow region

The reaction of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to manmade air pollution near enterprises and highways of the Orekhovo-Zuyevo urban district of the Moscow region was studied. The growth and development of 10–15-year-old pines were studied in terms of the state of auxiblasts and brachyblasts. The ambiguity of the reaction of Scots pine to atmospheric pollution has been noted, which manifests itself both in a decrease in growth

in length and in a compensatory increase in it, while the thickness of the shoots does not show a dependence on the amount of growth. It was found that in heavily polluted habitats, the density of needles tends to increase to 3.1–4.1 pcs./cm², and the degree of necrotic damage and shrinkage from 1/3 of the length to full increases to 43.2 and 61.5%, respectively. The average annual number of branches varies slightly. An analysis of the morphological characteristics of Scots pine (needle density on the shoot of the penultimate year, average lifespan, average annual circumference and length of growth of the main shoot and the number of lateral shoots) was carried out, which makes it possible to calculate the average level of technogenic air pollution in any region. A point assessment of the state of the environment is given based on the biometric parameters of Scots pine.

Key words: pollutants, atmospheric pollution, bioindication, Scots pine, auxiblasts, brachiblasts, density of needles, life expectancy of needles

FOR CITATION: Zykov I.E. Fedorova L.V. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as an indicator of manmade environmental pollution of the Eastern Moscow region. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2025. Vol. 15. No. 2. Pp. 156–172. (In Rus.). DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-2-156-172

Введение

Антропогенное воздействие на окружающую среду часто приводит к опасным изменениям ее компонентов. В условиях техногенного стресса химический состав атмосферы включает большое количество загрязнителей. У растений, чувствительных к составу и концентрации этих веществ, рост и развитие претерпевают значительные изменения. В то же время присутствие в воздухе одновременно нескольких загрязняющих веществ приводит к неоднозначным реакциям биоиндикаторов.

Известно, что высокие концентрации оксидов серы и азота часто приводят к хлорозу листьев [Аникушкин, Григорчук, 2006; Сергейчик, 2015; Легощина, 2018]. Аналогичная реакция может возникнуть у растений и на присутствие в воздухе твердых взвешенных частиц цинка, меди, кадмия. Загрязняющие вещества по-разному воздействуют на органы растений, вызывая поражение молодых листьев и апексов побегов, в результате чего может изменяться и габитус растения в целом.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) считается одним из эталонных биоиндикаторов средней полосы России. Однако анализ литературных

источников показывает, что ее отдельно взятые морфологические признаки недостаточно информативны [Ковылина, Зарубина, Ковылин, 2008; Boratynska, Jasinska, Ciepluch, 2008; Mandre, Lukjanova, 2011; Захаров, 2014; Лебедев, 2014; Данчева, Залесов, 2017]. Только учет совокупности параметров позволяет относительно более точно оценить состояние окружающей среды с помощью этого вида.

Целью работы является изучение реакции сосны обыкновенной на загрязнение воздуха в городе Орехово-Зуево Московской области и его окрестностях.

Материалы и методы

Город Орехово-Зуево расположен на Приклязьминской наклонной равнине Мещерской низменности на высоте 122 м над уровнем моря (рис. 1).

Для исследования выбраны локалитеты вблизи предприятий и автомобильных дорог. Наблюдения в них проведены в течение 2022–2023 гг.

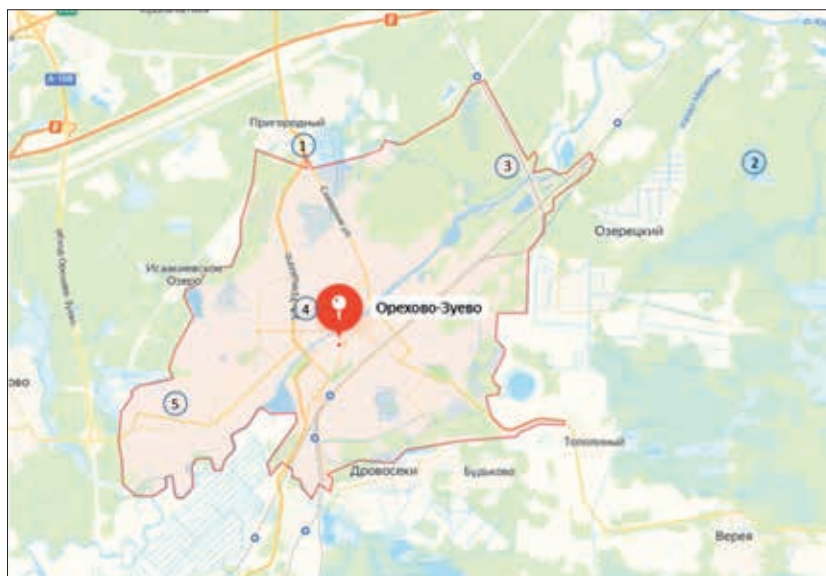


Рис. 1. Картограмма города Орехово-Зуево (Московская обл.)

1–5 – исследованные локалитеты

Fig. 1. Cartography of the city of Orekhovo-Zuyevo (Moscow region)

1–5 – Explored localities

Локалитет 1. 55.852787 с.ш., 38.963150 в.д. Северная окраина города с дерново-подзолистыми глееватыми и глеевыми почвами. 184 км обочины Малодубинского шоссе, являющегося частью автотрассы А-108 «Московское большое кольцо», соединяющей Нижегородскую и Рязанскую автодороги и имеющей грузооборот от 5 до 21 тыс. единиц автотранспорта в сутки в зависимости от сезона и дня недели. Пиковые нагрузки приходятся на летний период, особенно много машин на трассах в выходные дни. С тех пор, как движение по МКАД для грузовиков ограничили, доля грузового транспорта на кольце серьезно возросла и продолжает увеличиваться¹.

Локалитет 2. 55.836342 с.ш., 39.108997 в.д. Загородная зона в 5 км от северо-восточной границы города в сосновом лесу, участок вблизи верхового болота с *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. и *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. и подзолисто-болотными почвами в окрестностях озера Горбатое. В трехстах метрах к северу от озера проходит магистральный водовод со станциями перекачки и лесная дорога от поселка Озерецкий Орехово-Зуевского района Московской области к деревням Дубровка и Марково Петушинского района Владимирской области с интенсивностью движения от 20 до 50 единиц автотранспорта в сутки в зависимости от сезона и дня недели.

Локалитет 3. 55.835698 с.ш., 39.034745 в.д. Северо-восточная окраина города в районе очистных сооружений с аллювиальными болотными иловато-перегнойно-глеевыми почвами. В пятистах метрах к северо-востоку от очистных сооружений проходит железная дорога от г. Орехово-Зуево до г. Александров Владимирской области с достаточно интенсивным трафиком.

Локалитет 4. 55.808107 с.ш., 38.972771 в.д. Центр города на левом берегу р. Клязьмы с аллювиальными болотными иловато-перегнойно-глеевыми почвами в районе АО «НПП «Респиратор», выбрасывающим в окружающую среду 53 наименования вредных химических веществ четырех классов опасности, включая оксиды серы, азота, углерода, углеводороды. В атмосферный воздух вредных веществ поступает 14,57 т/год, из них твердых – 1,05 т/год, газообразных и жидких – 13,52 т/год. При этом доля оксида азота (II) составляет 0,34 т/год, оксида азота (IV) – 2,02 т/год². В 2023 г. исследованы сосны в районе улицы 1905 года, прилегающей к территории предприятия.

¹ ФКУ «Центравтомагистраль», 20.12.2016. URL: <https://centr.rosavtodor.gov.ru/eye/page/1/399961> (дата обращения: 08.01.2025).

² Проект нормативов предельно-допустимых выбросов в атмосферу для АО «Научно-производственное предприятие «Респиратор» (АО «НПП «Респиратор»), Московская область, г. Орехово-Зуево, ул. Гагарина, 1, санитарное заключение 50.11.04.000.T.000047.10.17 (e-ecolog.ru). 24.10.2017. URL: <https://e-ecolog.ru/crc/50.11.04.000.T.000047.10.17?ysclid=lv0yervj6m244365851> (дата обращения: 08.01.2025).

Локалитет 5. 55.793943 с.ш., 38.921506 в.д. Юго-западная окраина города с аллювиальными болотными иловато-перегонно-глеевыми почвами в 1 км к югу от АО «Карболит», длительное время выпускавшего пластмассовые изделия на основе новолачных и фенолформальдегидных смол. Предприятие выбрасывает 7 наименований загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Суммарный выброс поллютантов от предприятия 5,48 т/год, из них 1 класса опасности: бензапирена – 1,49 т/год, 3 класса опасности: оксида азота (IV) – 2,63 т/год, оксида азота (II) – 0,43 т/год³.

В каждом локалитете нами выбрано по 10 сосен 10–15-летнего возраста, высотой 1–1,5 м, растущих на расстоянии 5–10 м друг от друга. У модельных деревьев исследованы ауксбласты и брахибласты. Из ауксбластов отобраны те, которые наиболее часто используются в разном сочетании при биоиндикации [Ашихмина, 2005; Скрипальщикова, 2016; Вахнина, Ларин, Пак, 2020]. Возраст сосен определен по количеству мутовок главного побега плюс два (в первые два года жизни рост боковых побегов не происходит). Для изучения ежегодного прироста главного побега в длину и толщину и особенностей ветвления у каждой сосны измерены длина прироста главного побега от его верхушки до боковых побегов, окружность этого побега в точке ветвления, подсчитано количество боковых побегов. Для нахождения среднегодовой длины окружности суммированы длины окружностей всех побегов каждой сосны и разделены на количество побегов. Аналогичным образом найдены среднегодовые длины приростов и среднее количество боковых побегов. Из полученных по каждому дереву данным выведены средние значения для локалитета.

Брахибласты исследованы на побегах предпоследнего года жизни. Продолжительность жизни хвои определена на приростах главного побега, начиная с прироста последнего года. Хвоя собрана с предпоследнего прироста главного побега, изучена у каждой сосны отдельно, распределена по классам повреждения и усыхания. Плотность хвои вычислена по формуле:

$$\text{Плотность} = N/a \times b,$$

где N – количество хвоинок на предпоследнем приросте главного побега; a – длина предпоследнего прироста главного побега, см; b – длина окружности предпоследнего прироста побега, см. [Стрельцов, 2003; Предложение интегральной оценки..., 2023].

³ Проект нормативов предельно допустимых выбросов для АО «Карболит», Московская область, г. Орехово-Зуево, ул. Дзержинского, д. 34, санитарное заключение 50.11.04.000.Т.000054.12.18 (e-ecolog.ru). 17.12.2018. URL: <https://e-ecolog.ru/crc/50.11.04.000.Т.000054.12.18?ysclid=lv2knwh12h729996181> (дата обращения: 08.01.2025).

Результаты исследований

Токсичные вещества, содержащиеся в выбросах автотранспорта, являются основными загрязнителями атмосферы и служат одной из причин снижения стабильности развития популяций многих видов. Максимальные отклонения в развитии сосны обыкновенной по средней продолжительности жизни хвои отмечены у северной границы города вдоль автотрассы А-108, по среднегодовой длине прироста и количеству ветвлений – в центре города и районе очистных сооружений. В целом мультифакторное влияние на стабильность развития сосны обыкновенной неоднозначно, что отражено в результатах исследований, представленных в табл. 1, 2.

Для балльной оценки метрические параметры обработаны с помощью методов математической статистики. Результаты, полученные в каждом из исследованных биотопов, обобщены и систематизированы по совокупности единиц наблюдения и сгруппированы [Общая теория статистики, 2018].

В качестве группировочных признаков использованы:

- 1) плотность хвои;
- 2) средняя продолжительность жизни хвои;
- 3) среднегодовая окружность прироста главного побега;
- 4) среднегодовая длина прироста главного побега;
- 5) среднегодовое количество боковых побегов.

В результате двойной группировки выделено 5 групп значений для каждого признака, используя которые можно вычислить средний балл состояния окружающей среды района исследования. Для нахождения средней оценки нужно найти балл, соответствующий полученному результату по каждому параметру, сложить полученные баллы и разделить на количество оцениваемых параметров, производя округление по законам нахождения среднего [Предложение интегральной оценки..., 2023]. Интегральная оценка состояния окружающей среды на основе биометрических параметров сосны обыкновенной представлена в табл. 3.

Обсуждение результатов

В 2022 г. в исследованных локалитетах среднегодовая окружность побегов составила 32,6–46,0 мм. Наибольшая толщина побегов наблюдалась в районе Малодубинского шоссе. Здесь же отмечены максимальные показатели среднегодового прироста (26,6 см) и количества ветвлений (4,5 боковых побега), что, очевидно, следует рассматривать как компенсаторный фактор. В то же время средняя продолжительность жизни хвои в этом локалитете самая низкая – 1,8 года, а степень ее повреждения самая высокая (по количеству хвои с некрозами и большими площадями усыхания).

Таблица 1

Биометрические данные роста и развития сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (2022/2023 гг.)
[Biometric data on the growth and development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) (2022/2023)]

Исследованный локалитет [Explored locality]	Средний возраст сосен, лет [Average age of pine trees, years]	Средняя продолжительность жизни хвои, лет [Average life span of needles, years]	Среднее количество хвоинок на 1 см ² побега предпоследнего года жизни, шт. [Average number of needles per 1 cm ² of shoot in the penultimate year of life, pcs.]	Среднегодовая длина прироста, см [Average annual growth length, cm]	Среднегодовая окружность побега, мм [Average annual shoot circumference, mm]	Среднегодовое количество ветвлений, шт. [Average annual number of branches, pcs.]
1	11,2/11,0	1,8/2,1	-/1,5	26,6/23,4	-/70,6	4,5/4,1
2	13,2/12/8	3,0/3,3	-/1,2	24,9/26,0	-/75,9	4,3/3,9
3	11,6/13,7	2,6/3,3	-/4,2	17,7/14,9	-/42,8	3,2/2,8
4	15,4/13,3	2,7/2,0	-/1,5	18,7/21,7	-/87,2	2,8/3,0
5	11,4/-	2,6/-	-/-	23,8/-	-/-	3,1/-

Таблица 2

Распределение хвои по классам повреждения и усыхания, % (2022/2023 гг.)
[Distribution of needles by damage and shrinkage classes, % (2022/2023)]

Исследованный локалитет [Explored locality]	1 класс (хвоя без повреждений) [1 class (needles without damage)]	2.1 класс (микронекрозы) [2.1 class (micronecrosis)]	2.2 класс (некрозы) [2.2 class (necrosis)]	3.1 класс (усыхание кончика) [3.1 class (drying of the tip)]	3.2 класс (усыхание 1/3 и 1/2) [3.2 class (shrinkage 1/3 and 1/2)]	4.1 класс (полное усыхание) [4.1 class (complete drying)]	4.2 класс (повреждение насекомыми) [4.2 class (insect damage)]
1	12,4/26,9	30,0/4,0	43,2/–	1,0/3,0	6,5/13,4	6,9/21,4	–/31,4
2	23,5/0,34	57,3/3,3	5,3/–	0,8/32,0	0,4/47,7	0,6/14,1	12,1/2,6
3	21,1/38,2	45,0/45,6	30,9/2,2	1,0/4,7	0,2/1,1	1,0/2,2	0,8/6,1
4	21,7/41,5	32,0/47,7	39,4/6,0	1,6/0,1	–/0,1	0,6/–	4,8/4,6
5	16,1/–	41,0/–	31,0/–	0,4/–	7,2/–	3,4/–	1,0/–

Таблица 3

Балльная оценка состояния окружающей среды по метрическим параметрам сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)
[A point assessment of the state of the environment according to metric parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]

Баллы [Points]	Параметры [Parameters]				
	Плотность хвои, шт./см ² / балльная оценка [Needledensity, pcs/cm ² / pointscore]	Средняя продолжительность жизни хвои, лет [Average life span of needles, years]	Среднегодовая окружность прироста главного побега, см [Average annual growth circumference of the main shoot, cm]	Среднегодовая длина прироста главного побега, см [Average annual growth length of the main shoot, cm]	Среднегодовое количество боковых побегов, шт. [Average annual number of lateral shoots, pcs.]
1 – относительная норма [1 – relative norm]	До 1, 1 / 5 [Up to 1.1 / 5]	Более 2,8 [More than 2.8]	Более 11,4 [More than 11.4]	Более 27,0 [More than 27.0]	Более 4,0 [More than 4.0]
2 – слабое загрязнение, фоновое состояние [2 – light pollution, background condition]	1,1–2,1 / 4	2,4–2,8	9,0–11,4	21,8–27,0	3,6–4,0
3 – среднее загрязнение [3 – moderate pollution]	2,1–3,1 / 3	2,0–2,4	6,6–9,0	16,6–21,8	3,2–3,6
4 – сильное загрязнение [4 – heavy pollution]	3,1–4,1 / 2	1,6–2,0	4,2–6,6	11,4–16,6	2,8–3,2
5 – очень сильное загрязнение, тревога [5 – very strong pollution, alarm]	Более 4,1 / 1 [More than 4.1 / 1]	До 1,6 [Up to 1.6]	До 4,2 [Up to 4.2]	До 11,4 [Up to 11.4]	До 2,8 [Up to 2.8]

Минимальный прирост в длину и толщину отмечен в районе очистных сооружений в зоне утилизации отработанного активного ила. Наименьшее среднегодовое ветвление (2,8 побега) и наибольшее повреждение и усыхание хвои характерно для сосен в центре города, где на этот процесс оказывают влияние несколько загрязнителей, выбрасываемых в воздух предприятиями и автотранспортом (рис. 2).

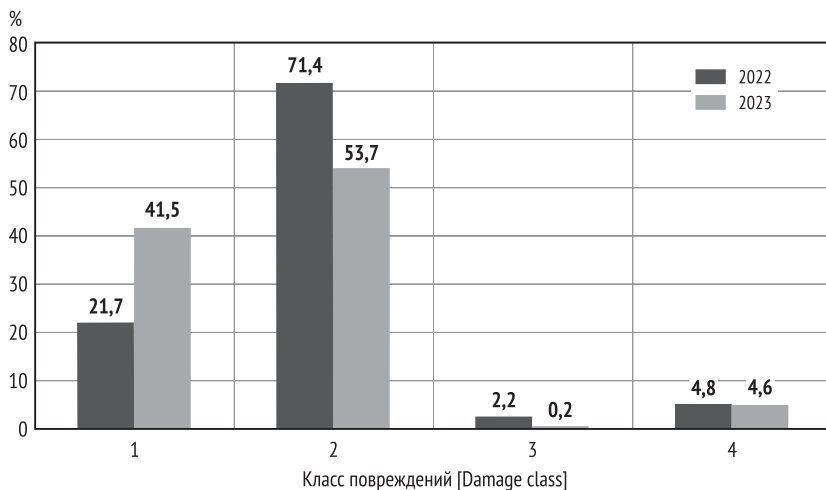


Рис. 2. Распределение хвои по классам повреждения и усыхания в 2022–2023 гг. в центре города Орехово-Зуево (Московская обл.)

Fig. 2. Distribution of needles by damage and shrinkage classes in 2022–2023 in the center of Orekhovo-Zuyevo (Moscow region)

В 2023 г. отмечено некоторое улучшение состояния воздуха в центре города по сравнению с 2022 г., о чем свидетельствует увеличение количества неповрежденной хвои почти в 2 раза и значительное уменьшение хвои с повреждениями и усыханиями (см. рис. 2). Вероятно, это связано с сокращением концентрации угарного газа, чему, по-видимому, способствовали и погодные условия. В 2022 г. в период с мая по август в районе исследования выпал 141 мм осадков при относительной влажности воздуха 62% и среднесуточной температуре воздуха 17,3 °C. За тот же период 2023 г. эти показатели составили 193 мм, 68,5% и 13,8 °C соответственно. В 2021–2022 гг. большое содержание оксида углерода (II) в атмосфере связано с эпизодическим горением торфяников. В 2023 г. пожары были локализованы и ликвидированы, что, безусловно, отразилось на концентрациях угарного газа в воздушной среде.

В загородной зоне в районе озера Горбатое отмечена самая высокая продолжительность жизни хвои. Однако здесь велико содержание хвои с микронекрозами в 2022 г. (57,3%) и усыхающей в 2023 г. (14,1%).

Обычно в ненарушенных экосистемах лишь 10% хвои может иметь светло-зеленые некротические точки. Превышение этого значения в районе озера Горбатое, вероятно, также связано с высоким содержанием в атмосфере оксида углерода (II) из-за пожаров на торфяниках.

Известно, что при загрязнении атмосферы уменьшается рост побегов в длину, а это приводит к увеличению количества хвоинок на них. Для оптимизации расчетов мы предлагаем измерять площадь поверхности побега предпоследнего года жизни и плотность хвои на нем, что позволит получить данные, соизмеримые по названному параметру в разных точках учета.

Так, плотность хвои на побегах увеличивается от загородной зоны (1,2 шт./см²) к району очистных сооружений (4,2 шт./см²). В то же время в районе очистных сооружений наблюдаются самые низкие показатели среднегодового прироста, ветвления и прироста в толщину. При этом средняя продолжительность жизни хвои здесь достаточно высока – 3,3 года, а степень ее повреждения ниже, чем в загородной зоне. Изменение метрических характеристик побегов сосны может быть связано здесь не только с загрязнением атмосферы, но и с изменением состава почвы вследствие обогащения ее отработанным активным илом с очистных сооружений.

В районе АО «Карболит» в 2022 г. отмечены незначительные отклонения в распределении хвои по классам повреждения и усыхания, среднегодовой продолжительности жизни хвои, длине прироста главного побега и количеству боковых ветвлений от гипотетически чистой загородной зоны в окрестностях озера Горбатое. Это, вероятно, объясняется тем, что предприятия, являющиеся источником загрязнения атмосферы фенольными соединениями, могут за счет таких выбросов создавать более благоприятные условия для развития некоторых видов растений, в том числе и сосны обыкновенной.

Как известно, синтезируемые растениями фитофенолы участвуют в окислительно-восстановительных реакциях, играют важную роль в их защите, являются фотопротекторами, модуляторами процессов роста и развития [Абдрахимова, Валиева, 2012; Волюнец, 2013; Шавнин, Колтунов, Яковлева, 2014; Фенольные соединения..., 2018; Фенольная система..., 2019].

Заключение

Широко распространенные виды, такие как сосна обыкновенная, обладают значительным диапазоном экологической валентности и нормы генотипической реакции, что позволяет им адаптироваться к многим экологическим и антропогенным факторам. Отмечена неоднозначность реакции исследованного вида на состояние окружающей среды. Даже в локалитетах со сходной антропогенной нагрузкой часто происходит как уменьшение ряда метрических параметров, так и компенсаторное их увеличение. В то же время близкие по значению результаты обнаруживаются в достаточно удаленных друг от друга местообитаниях, находящихся в разных экологических условиях.

Так, в 2023 г. в загородной зоне в окрестностях озера Горбатое и в центре города отмечены сопоставимые результаты прироста 26,0 и 21,7 см. В том же году в двух ближайших локалитетах (1 и 3) у северной и северо-восточной окраины города эти показатели составили 23,4 и 14,9 см соответственно. При этом толщина побегов часто не обнаруживает корреляционной зависимости с величиной прироста. Плотность хвои имеет тенденцию к увеличению в сильно загрязненных местообитаниях. В 2022 г. в центре города и в юго-западном локалитете в районе АО «Карболит» плотность хвои составила 3,6 и 4,6 шт./см² соответственно, а в загородной зоне лишь 1,6 шт./см². Среднегодовое количество ветлений в динамике изменяется незначительно.

Гипотеза о техногенном влиянии на стабильность развития сосны обыкновенной часто не подтверждается. Многие вопросы, связанные с ее ростом и развитием в условиях антропогенной нагрузки, остаются нерешенными и требуют дальнейших исследований. Для получения максимально достоверных результатов, по-видимому, необходима интегральная оценка состояния окружающей среды по комплексу биометрических признаков.

В заключение следует отметить, что город является сложной антропогенной геохимической аномалией. В городской агломерации под действием многих антропогенных факторов неизбежно изменение физико-химических свойств почв, распределения по профилю их главных компонентов, перераспределение высокодисперсных минеральных частиц, изменение состава обменно-поглощенных катионов, величины рН и гранулометрического состава. Поэтому параллельно с биоиндикационными исследованиями необходима организация геохимического мониторинга почвенного покрова, особенно в искусственных фитоценозах.

Библиографический список / References

Абдрахимова Й.Р., Валиева А.И. Фенольные соединения // Вторичные метаболиты растений: физиологические и биохимические аспекты: учебно-методическое пособие, Казань, 2012. Ч. 3. [Abdrakhimova J.R., Valieva A.I. Phenolic compounds. *Vtorichnye metabolity rasteniy: fiziologicheskie i biokhimicheskie aspekty*. Teaching aid. Kazan, 2012. Part 3. (In Rus.)]

Аникушкин А.С., Григорчук К.В. Загрязнение атмосферы оксидами азота и углерода // Успехи современного естествознания. 2006. № 10. С. 64–66. [Anikushkin A.S., Grigorchuk K.V. Atmospheric pollution by nitrogen and carbon oxides. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2006. No. 10. Pp. 64–66. (In Rus.)]

Ашихмина Т.Я. Экологический мониторинг. М., 2005. [Ashikhmina T.Ya. *Ekologicheskii monitoring* [Environmental monitoring]. Moscow, 2005.]

Вахнина И.Л., Ларин В.С., Пак Л.Н. Влияние эколого-генетических факторов на морфометрический параметры и динамику годичного прироста древесины в испытательных культурах *Pinus sylvestris* L. // Успехи современного естествознания. 2020. № 1. С. 5–11. [Vakhnina I.L., Larin V.S., Pak L.N. The influence of ecological and genetic factors on the morphometric parameters and dynamics of annual growth of wood in test crops of *Pinus sylvestris* L. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020. No. 1. Pp. 5–11. (In Rus.)]

Волынец А.П. Фенольные соединения в жизнедеятельности растений. Мн., 2013. [Volynets A.P. *Fenolnye soedineniya v zhiznedeятельности rasteniy* [Phenolic compounds in plant life]. Minsk, 2013.]

Данчева А.В., Залесов С.В. Взаимосвязь параметров ассимиляционного аппарата деревьев с коэффициентом напряженности роста в сосняках Барнаульского ГНПП // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2017. № 3. С. 4–12. DOI: 10.21178/2079-6080.2017.3.4 [Dancheva A.V., Zalesov S.V. The relationship of the parameters of the assimilation apparatus of trees with the growth intensity coefficient in the pine forests of the Barnaul state scientific production enterprise. *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*. 2017. No. 3. Pp. 4–12. (In Rus.). DOI: 10.21178/2079-6080.2017.3.4]

Захаров А.Б. Дендроиндикация загрязненности окружающей среды урбанизированных территорий на примере искусственных популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Балахинской низменности: дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 2014. [Zakharov A.B. *Dendroindikatsiya zagryaznennosti okruzhayushchey sredy urbanizirovannykh territoriy na primere iskusstvennykh populyatsiy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) Balakhninskoy nizmennosti* [Dendroindication of environmental pollution in urbanized territories on the example of artificial populations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of the Balakhna lowland]. PhD dis. Nizhny Novgorod, 2014.]

Ковылина О.П., Зарубина И.А., Ковылин А.Н. Оценка жизненного состояния сосны обыкновенной в зоне техногенного загрязнения // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25. № 3-4. С. 284–289. [Kovylyina O.P., Zarubina I.A.,

Kovylin A.N. Assessment of the vital condition of the Scots pine in the zone of anthropogenic pollution. *Khvoynye borealnoy zony*. 2008. Vol. 25. No. 3-4. Pp. 284–289. (In Rus.)]

Лебедев В.Г. Анализ изменчивости количественных признаков хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в связи с дифференциацией популяций: дис. ... канд. биол. наук. Киров, 2014. [Lebedev V.G. Analiz izmenchivosti kolichestvennykh priznakov hvoi sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) v svyazi s differentsiatsiey populyatsiy [Analysis of the variability of quantitative characteristics of Scots pine needles (*Pinus sylvestris* L.) in connection with population differentiation]. PhD dis. Kirov, 2014.]

Легощина О.М. Адаптивные реакции и фито-индикационная способность древесных растений в условиях техногенного загрязнения: дис. ... канд. биол. наук. Кемерово, 2018. [Legoshchina O.M. Adaptivnye reaksii i fito-indikatsionnaya sposobnost drevesnykh rasteniy v usloviyah tekhnogennogo zagryazneniya [Adaptive reactions and phyto-indicative ability of woody plants in conditions of technogenic pollution]. PhD dis. Kemerovo, 2018.]

Общая теория статистики / под ред. М.Г. Назарова. М., 2018. [Obshchaya teoriya statistiki [General theory of statistics]. M.G. Nazarov (ed.). Moscow, 2018.]

Предложение интегральной оценки экологического состояния лесных биocenозов по сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / И.Е. Зыков, Л.В. Федорова, С.Г. Баранов, В.Г. Ежкова // Успехи современного естествознания. 2023. № 1. С. 44–51. [Zykov I.E., Fedorova L.V., Baranov S.G., Ezhkova V.G. Proposal for an integrated assessment of the ecological state of forest biocenoses for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2023. No. 1. Pp. 44–51. (In Rus.)]

Сергейчик С.А. Эколого-физиологический мониторинг устойчивости сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в техногенной среде // Биосфера. 2015. Т. 7. № 4. С. 384–391. [Sergeychik S.A. Ecological and physiological monitoring of the stability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in technogenic environment. *Biosphera*. 2015. Vol. 7. No. 4. Pp. 384–391. (In Rus.)]

Скрипальщикова Л.Н. Морфолого-анатомические особенности хвои сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов города Красноярск // Сибирский лесной журнал. 2016. № 3. С. 46–56. [Skripalshchikova L.N. Morphological and anatomical features of Scots pine under the influence of industrial emissions from the city of Krasnoyarsk. *Siberian Forest Journal*. 2016. No. 3. Pp. 46–56. (In Rus.)]

Стрельцов А.Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга, 2003. [Streltsov A.B. Regionalnaya sistema biologicheskogo monitoringa [Regional biological monitoring system]. Kaluga, 2003.]

Фенольная система защиты растений в условиях загрязнения среды г. Тюмени тяжелыми металлами / А.С. Петухов, Н.А. Хритохин, Г.А. Петухова, Т.А. Кремлева // Ученые записки Казанского ун-та. 2019. Т. 161. Кн. 1. С. 93–107. DOI: 10.26907/2542-064X.2019.1.93-107 [Petukhov A.S., Hritokhin N.A., Petukhova G.A., Kremleva T.A. Phenolic plant protection system in conditions of environmental pollution in Tyumen with heavy metals. *Uchenye*

Zapiski Kazanskogo Universiteta. 2019. Vol. 161. Book 1. Pp. 93–107. (In Rus.). DOI: 10.26907/2542-064X.2019.1.93-107]

Фенольные соединения: функциональная роль в растениях // Материалы X Международного симпозиума «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты», Москва, 14–19 мая 2018 г. / отв. ред. Н.В. Загоскина. М., 2018. [Phenolic compounds: A functional role in plants. *Materialy X Mezhdunarodnogo simpoziuma «Fenolnye soedineniya: fundamentalnye i prikladnye aspekty»*, Moskva, 14–19 maya 2018 g. N.V. Zagoskina (ed.). Moscow, 2018.]

Шавнин С.А., Колтунов Е.В., Яковлева М.И. Влияние урбанизации на состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17151> (дата обращения: 20.09.2024). [Shavnin S.A., Koltunov E.V., Yakovleva M.I. The influence of urbanization on the composition and content of phenolic compounds in pine needles (*Pinus sylvestris* L.). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. No. 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17151>]

Boratynska K., Jasinska A., Ciepluch E. Effect of tree age on needle morphology and anatomy of *Pinus uliginosa* and *Pinus silvestris* – species-specific character separation during ontogenesis. *Flora: Morphology, Distribution, Function Ecology of Plants*. 2008. Vol. 203. Pp. 617–626.

Mandre M., Lukjanova A. Biochemical and structural characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in an alkaline environment. *Estonian Journal of Ecology*. 2011. Vol. 60. No. 4. Pp. 264–283.

Статья поступила в редакцию 08.02.2025, принята к публикации 10.03.2025
The article was received on 08.02.2025, accepted for publication 10.03.2025

Сведения об авторах / About the authors

Зыков Игорь Евгеньевич – кандидат биологических наук; доцент кафедры биологии, экологии и химии биолого-химического факультета, Государственный гуманитарно-технологический университет, Московская область, г. Орехово-Зуево

Igor E. Zikov – PhD in Biology; associate professor at the Department of Biology, Ecology and Chemistry of the Faculty of Biology and Chemistry, State University of Humanities and Technology, Orekhovo-Zuyevo, Moscow region

E-mail: zikov-oz@yandex.ru

Федорова Любовь Валерьевна – старший преподаватель кафедры фармацевтического естествознания Института фармации им. А.П. Нелюбина, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова

Lubov V. Fedorova – senior lecturer at the Department of Pharmaceutical Natural Sciences of the Institute of Pharmacy, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

E-mail: fedorova-oz@yandex.ru

Заявленный вклад авторов

И.Е. Зыков – организация исследования, агрегация литературных данных, сбор полевого материала, определение биометрических параметров сосны обыкновенной, балльная оценка состояния окружающей среды

Л.В. Федорова – участие в сборе полевого материала, поиск литературных данных, определение биометрических параметров сосны обыкновенной

Contribution of the authors

I.E. Zykov – research organization, literature review, field data collection, determination of Scots pine biometric parameters, environmental assessment

L.V. Fedorova – participation in field data collection, literature search, determination of Scots pine biometric parameters

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript