

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
(*PINUS SYLVESTRIS* L.) НА ОБЪЕКТАХ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА****Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, А. Б. Кочанкина**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

Аннотация. Оценка состояния сосны обыкновенной в городских зеленых насаждениях варьируется от «здоровых» до «отмирающих». Совокупное влияние антропогенных факторов нередко приводит к усыханию крупных ветвей и вершин, общей деградации насаждений, что вызывает ускоренное биологическое старение и преждевременную гибель деревьев. Результаты дендроиндикационных исследований экологического состояния городских территорий по состоянию хвои сосны обыкновенной на объектах озеленения г. Красноярска показали, что на трех из 22 объектов состояние воздушной среды оценивается как «относительно чистое» – данные объекты расположены в периферийной части города со стороны господствующего ветра; на 6 объектах – в районах, где качество воздуха среды оценивается как «загрязненный»; на 5 – «грязный»; на 9 – «очень грязный» – объекты расположены в центральной части города, а также приближены к автомагистралям. Отмечается значительная изменчивость показателей длины и ширины хвои по всей совокупной выборке ($V = 42,2\%$) в условиях, где качество воздушной среды оценивается как «загрязненное». В «очень грязных» условиях наблюдается уменьшение размеров длины хвои, при этом снижается и изменчивость признака, возле автодороги наблюдаются деревья сосны обыкновенной с возрастом хвои от 1 года до 3 лет, при увеличении расстояния и наличия «зеленого» экрана возраст хвои увеличивается и с расстояния 42 м, встречаются экземпляры, возраст которых составляет 4 года. В силу высокой восприимчивости к изменениям условий произрастания, сосна обыкновенная представляет перспективный тест-объект биоиндикации. Данный вид может эффективно применяться для мониторинга и анализа экологической обстановки городской среды, отражая отклонения от нормативных состояний. Использование сосны обыкновенной в качестве индикатора позволяет оперативно и круглогодично выявлять проблемные зоны и оценивать эффективность природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: объекты озеленения, ассимиляционный аппарат, сосна обыкновенная, городская среда, Красноярск.

*Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 2, P. 89–94***VARIABILITY OF THE ASSIMILATION APPARATUS OF SCOTS PINE
(*PINUS SYLVESTRIS* L.) AT LANDSCAPING SITES IN KRASNOYARSK****E. V. Avdeeva, N. L. Rovnych, A. B. Kochankina**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

Abstract. The condition of Scots pine trees in urban green spaces varies from “healthy” to “dying”. The combined impact of anthropogenic factors often leads to the drying out of large branches and tops, as well as general degradation of the stands, which causes accelerated biological aging and premature death of trees. The results of dendroindication studies of the ecological state of urban areas based on the condition of Scots pine needles in Krasnoyarsk green spaces showed that at three of 22 sites, the air quality is assessed as “relatively clean” – these sites are located in the peripheral part of the city on the side of the prevailing wind; at six sites – in areas where the air quality is assessed as “polluted”; at five – “dirty”; at nine – “very dirty” – the sites are located in the central part of the city and also close to highways. Significant variability in needle length and width was observed across the entire sample ($V = 42.2\%$) under conditions where air quality was assessed as “polluted”. Under “very polluted” conditions, a decrease in needle length was observed, along with a reduction in variability. Near the road, Scots pine trees with needles ranging from 1 to 3 years old were observed. With increasing distance and the presence of a “green” screen, needle age increased, and at a distance of 42 m, specimens as old as 4 years were observed. Due to its high sensitivity to changes in growing conditions, Scots pine represents a promising bioindication test object. This species can be effectively used for monitoring and analyzing the environmental situation in the urban environment, reflecting deviations from standard conditions.

Using Scots pine as an indicator allows for the prompt and year-round identification of problem areas and the assessment of the effectiveness of environmental measures.

Keywords: landscaping objects, assimilation apparatus, Scots pine, urban environment, Krasnoyarsk.

ВВЕДЕНИЕ

В текущих условиях развития городских территорий становится крайне важным всестороннее использование полезных свойств зелёных насаждений, формирующих экологическую основу городов. Изучение роста сосны обыкновенной в городских посадках выявило, что её востребованности способствует эстетическая привлекательность, сохраняющаяся даже зимой, адаптивность к почвенным условиям, быстрый рост, морозостойкость, а также значительные санитарные, гигиенические и средозащитные характеристики [2; 9; 12; 13; 19]. Однако состояние сосны обыкновенной в разных городских зонах озеленения варьируется от здорового до критического. Совокупное воздействие антропогенных факторов часто приводит к усыханию крупных ветвей, гибели верхушек, общей деградации насаждений, ускоренному биологическому старению и преждевременной гибели деревьев. Деградация сосновых посадок в городской среде характеризуется неравномерным распределением по территории.

Влияние техногенного загрязнения атмосферы на рост сосны обыкновенной является предметом исследований на протяжении многих лет [9; 11; 14; 15; 17; 18]. Многие исследователи отмечают негативное воздействие практически всех видов выбросов, особенно оксидов серы, частиц тяжёлых металлов, соединений фтора и фотохимических веществ, содержащихся в автомобильных выхлопных газах, что приводит к преждевременному старению растений, разрежению и деформации кроны. [1; 8; 12]. Под влиянием токсиантов хвоя сосны обыкновенной в зонах сильного

загрязнения приобретает тёмно-красную окраску, вызывает у сосны опадание хвои, которая сохраняется лишь на побегах последнего года [3; 4; 7; 10; 20].

Цель исследования заключается в установлении изменчивости показателей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на объектах озеленения г. Красноярска с различным уровнем антропогенного воздействия и обоснования использования данного вида в качестве вида-индикатора с целью оценки состояния воздушной среды городов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов выступают деревья сосны обыкновенной, произрастающие в городских насаждениях Красноярска. В соответствии с целью исследования, направленной на изучение изменений морфологических характеристик ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях Красноярска, было обследовано 22 участка озеленения, характеризующихся различной степенью воздействия антропогенных факторов.

На каждом объекте озеленения собрано по 100 образцов хвои (2200 шт.) с деревьев сосны обыкновенной на высоте от 1 до 1,5 м на участке побега второго года жизни с внешней стороны насаждения, с учетом состояния территории (без признаков уплотнения почвы). Далее проводилась оценка состояния хвои в соответствии с диагностическими и оценочными характеристиками (табл. 1). Измерения длины и толщины хвои проводились с использованием электронного штангенциркуля «Stayer Professional» с точностью – 0,1 мм.

Таблица 1
Классы повреждения и усыхания хвои

Классы повреждения хвои: 1 – хвоинки без пятен; 2 – хвоинки с небольшим числом мелких пятен; 3 – хвоинки с большим числом черных и желтых пятен	1	2	3			
	Классы усыхания хвои					
	1	1	1	2	2	4
						

Таблица 2
Оценочная шкала «Экспресс-оценка загрязнения воздуха с использованием сосны обыкновенной»

Максимальный возраст хвои, лет	Класс повреждения хвои на побегах второго года жизни		
	1	2	3
4	I	I–II	III
3	I	II	III – IV
2	II	III	IV
2	—	IV	IV – V
1	—	IV	V – VI
1	—	—	VI

Примечания: I – II – III – воздух «относительно чистый»; IV – «загрязненный»; V – «грязный»; VI – «очень грязный»; — – невыполнимые совмещения.

Биоиндикационная экспресс-оценка загрязнения атмосферного воздуха выполнена на основе анализа состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной. В основу метода положена корреляция между уровнем повреждения хвои, представленным в табл. 1, и степенью загрязнения воздуха в зоне произрастания дерева. Данный подход позволяет оперативно оценить качество атмосферного воздуха, используя сосну обыкновенную в качестве тест-объекта. Анализ степени повреждения хвои, как показателя, отражает интегрированное воздействие загрязняющих веществ на растение в течение определенного периода времени [4; 10; 11] (см. табл. 2) [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты дендроиндикационных исследований экологического состояния городских территорий по состоянию хвои сосны обыкновенной на объектах озеленения г. Красноярска показали, что только на трех (из 22 на исследуемых объектах озеленения г. Красноярска) состоянии воздушной среды оценивается как «относительно чистый» – данные объекты расположены в периферийной части города со стороны господствующего ЮЗ ветра (Академгородок, Ботанический бульвар, в районе кампуса СФУ); на 6 объектах – в районах, где качество воздушной среды оценивается как «загрязненный»; на 5 – «грязный»; на 9 – «очень грязный» – объекты расположены в центральной части города, а также приближены к автомагистралям.

Анализ хвои сосны обыкновенной, произрастающей в зонах с разным уровнем антропогенного воздействия, выявил следующие закономерности. Наибольшая продолжительность жизни хвои, достигающая четырех лет, наблюдалась на двух из трех участков озеленения, характеризующихся «относительно чистым» атмосферным воздухом. В то же время минимальная продолжительность жизни хвои, составляющая один год, зафиксирована вблизи крупных автомагистралей с интенсивным движением транспорта, где качество воздуха оценивается как «очень грязное». У деревьев, произрастающих в условиях воздушной среды, классифицируемой как «грязная», возраст хвои не превышал двух лет, при этом отмечалась высокая степень повреждения значительной части ассимиляционного аппарата.

В ходе математической обработки отмечается значительная изменчивость показателей, что подтверждается разбросом средних значений длины хвои по всей совокупной выборке, разница в размерах составляет 73,8 мм. Среднее максимальное значение – 101,6 мм (абсолютное максимальное – 108 мм) отмечено на объекте озеленения Сквер «Мебелев», просп. им. газ. «Красноярский рабочий», минимальное значение – 27,8 мм (в насаждениях возле цирка, (коэффициент вариации составляет $V = 42,2\%$). Данные объекты расположены в условиях, где качество воздушной среды оценивается как «загрязнённое». В пределах данных условий наблюдается наибольший разброс значений, в условиях с «загрязненной» и «грязной» воздушной средой отмечается увеличение длины хвои по сравнению с длиной хвои у растений, произрастающих в «относительно чистых» условиях. В «очень грязных» условиях состояния воздушной среды наблюдается уменьшение размеров длины хвои, при этом снижается и изменчивость признака (рис. 1).

В ходе проведенных исследований установлена взаимосвязь возраста хвои, класса ее повреждения с качеством воздушной среды (рис. 2).

Результаты исследований показали, что деревья сосны обыкновенной, произрастающие в условиях где качество воздушной среды оценивается как «относительно чистое», имеют хвою возраст которой составляет 3–4 года, при этом 70 % исследуемой хвои не имеет повреждений, 30 % имеет незначительные (рис. 3).

При характеристике воздушной среды как «очень грязная» у всех обследуемых растений выявлены признаки хлорозных и некротических изменений. Наблюдается следующая картина усыхания хвои: 47 % растений отнесены ко 2-му классу, 28 % – к 3-му, 25 % – к 4-му. Растения угнетены, наблюдается их ускоренное старение, имеются участки, где посадки полностью отсутствуют из-за гибели саженцев и их последующего удаления, либо в рядовых посадках отмечены более молодые экземпляры, высаженные взамен ранее погибших. Появление хлороза (потеря хвоей зеленого пигмента в результате разрушения хлорофилла) и некроза (отмирание хвои) приводит к дефолиации (опадению хвои) и, как следствие, к замедлению темпов роста растений.

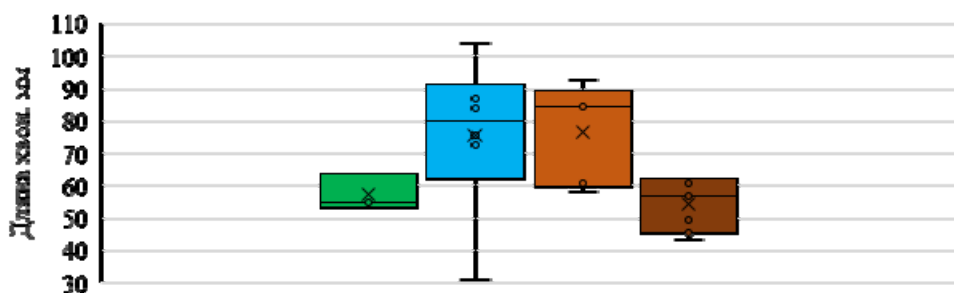


Рис. 1. Изменчивость длины хвои сосны обыкновенной в искусственных насаждениях г. Красноярска.

Состояние воздушной среды на исследуемых объектах озеленения:

■ относительно чистое; ■ загрязненный; ■ грязный; ■ очень грязный

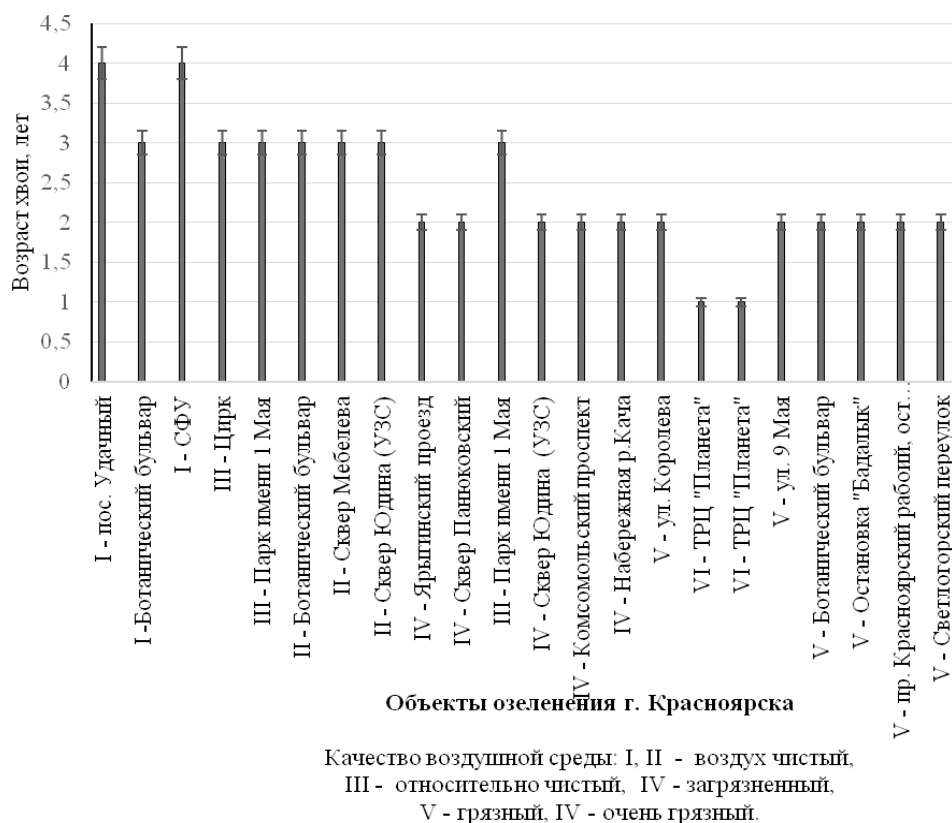


Рис. 2. Взаимосвязь возраста хвои и класса повреждения хвои сосны обыкновенной с качеством воздушной среды на объектах озеленения г. Красноярск

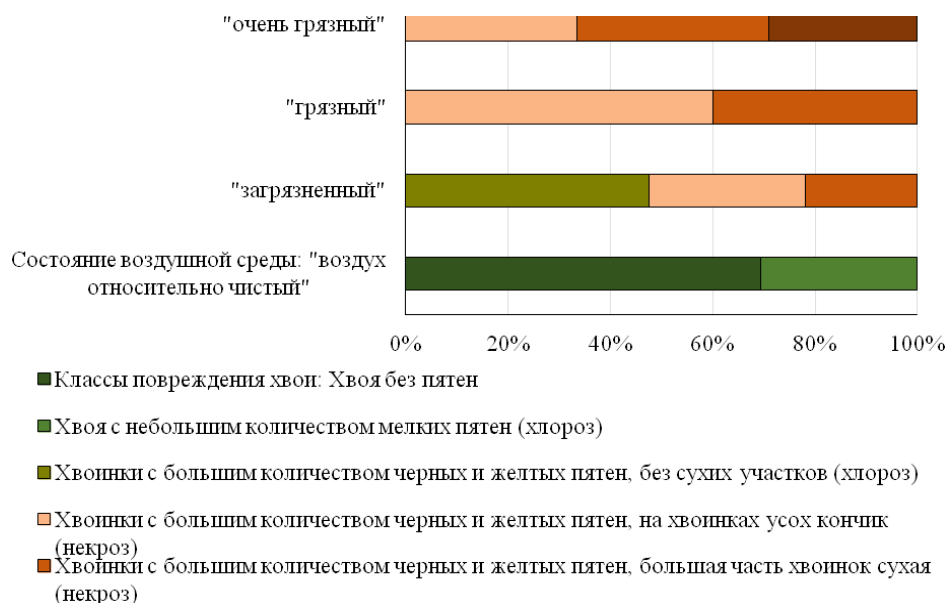


Рис. 3. Повреждения хвои сосны обыкновенной на объектах озеленения г. Красноярск с различным уровнем техногенной нагрузки

Один из объектов озеленения «Ботанический бульвар» располагается в районе с умеренным уровнем фонового загрязнения, при этом растения произрастают на разделительной полосе автомобильной дороги. Анализ состояния хвои сосны обыкновенной показал, что качество воздуха в придорожной зоне, по обеим сторонам которой наблюдается интенсивное движение транспорта, оценивается как «грязное».

Следует подчеркнуть, что метод биотестирования обеспечивает достаточно точную градацию состояния воздушной среды по состоянию ассимиляционного аппарата сосны.

Изучение продолжительности жизни хвои сосны обыкновенной, произрастающей в количестве 83 экземпляров вдоль улицы Обороны (Центральный, наиболее загрязненный, район города) на участке, размещен-

ном вглубь территории на 50 метров от автомагистрали, выявило закономерности изменения возраста хвои в зависимости от удаленности от источника загрязнения. В непосредственной близости к дороге (до 3 метров) доминируют экземпляры с однолетней хвоей, реже встречаются особи с двухлетней. Увеличение возраста хвои наблюдается по мере удаления от источника загрязнения: на расстоянии 42 метров обнаружены экземпляры с четырехлетней хвоей.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной к воздействию автотранспортного загрязнения, что согласуется с данными о восприимчивости данного вида к атмосферным поллютантам. На основании проведенного анализа и результаты предыдущих исследований о влиянии загрязнителей на хвойные породы, рекомендуется организация защитных посадок из более устойчивых лиственных пород по периметру насаждений сосны обыкновенной для снижения негативного воздействия автомобильного транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Антропогенное воздействие на городскую экосистему оказывает влияние на морфологические и физиологические характеристики *Pinus sylvestris*. Увеличение степени загрязнения приводит к редукции линейных размеров хвои, повышению частоты встречаемости признаков повреждения, а также к сокращению жизненного цикла хвоинок. Сосна обыкновенная, демонстрируя высокую чувствительность к изменениям окружающей среды, может быть эффективно использована в качестве индикаторного вида для мониторинга экологического состояния городских территорий, при условии соблюдения соответствующих методологических требований к растениям-индикаторам, что определяется ее оперативной реакцией на изменения в состоянии окружающей среды. Кроме того, использование хвойных пород в качестве биоиндикаторов является целесообразным на протяжении всего года, что обеспечивает возможность осуществления долгосрочного мониторинга состояния окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бадмаева С. Э., Циммерман В. И. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городов Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2015. № 2. С. 27–32.
2. Василевская Н. В., Тумарова Ю. М. Оценка стабильности развития популяций *Pinus sylvestris* L. В условиях аэротехногенного загрязнения // Биогеография Карелии: тр. Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 2005. Вып. 7. С. 21–25.
3. Гераськин Д. В., Васильев В. Г., Дикарев Оценка методами биоиндикации техногенного воздействия на популяции *Pinus sylvestris* в районе предприятия по хранению радиоактивных отходов // Экология. 2005. № 4. С. 275.
4. Кизеев А. Н. Изменения морфологических и физиолого-биохимических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения // Молодой ученый. 2011. Т. 1. № 3. С. 120–128.

5. Лебедев А. Г. Анализ изменчивости количественных признаков хвои в популяциях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 5. С. 205–209.
6. Мелехова О. П. и др. Биологический контроль окружающей среды. М. : Издательский центр «Академия», 2010. 288 с.
7. Неверова О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. 2012. Т. 4, № 1. С. 82–92.
8. Панов А. И., Авдеева Е. В. Биоиндикация урбоэкосистем по морфологическим признакам хвойных растений // Хвойные бореальной зоны. Т. XXXV, № 1-2. С. 7–14.
9. Скрипальщикова Л. Н., Стасова В. В., Пляшечник М. А. Оценка экологического состояния сосны обыкновенной на урбанизированных территориях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2013. № 11. С. 176–181.
10. Соболева О. М., Кондратенко Е. П., Пинчук Л. Г. Комплексная оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в г. Новокузнецке // Вестн. Алтай. гос. аграр. ун-та. 2009. № 7. С. 33–36.
11. Соболева С. В., Беляева К. С., Почекутов И. С. Сосна обыкновенная как биоиндикатор загрязнения атмосферы // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. / СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2017. С. 25–29.
12. Сомов Е. В., Кучереносова А. Ю., Олейник А. А. Рост сосны обыкновенной в зеленых насаждениях Хабаровска: состояние вопроса, методика исследований, предварительные результаты // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-техн. конф. «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития». Брянск : БГИТА, 2008. 230 с.
13. Ярмишко В. Т. Особенности роста и формирования наземной фитомассы сосны // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л., 1990. С. 55–64.
14. Avdeeva E., Ivanov D., Markelova K. Monitoring of objects urban gardening. Information system “quality management of urban sites greening” // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. “International Science and Technology Conference “Earth Science”, ISTC EarthScience 2022 – Chapter 3”. 2022. С. 042087.
15. Avdeeva E., Panov A. Ecosystem approach to assessing the state of the urbanized environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference “Far-EastCon 2019”. 2020. С. 022032.
16. Aguil, S. Physiological and biochemical response of *Albizia lebbek* (L.) Benth. to coal smoke pollution / S. Aguil, S. H. Ahmad, Z. Reshi [et al.] // Pollution Research. 2003. Vol. 22, № 4. P. 489–493.
17. Bharti V. K., Giri A., Kumar K. Fluoride Sources, toxicity and its amelioration: Reviw. Reviw. Sci Toxicol, 2017. 2(1): 021–032. Doi: 10.17352/aest. 000009
18. Linde M., Oborn I., Gustafsson J. P. Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in

moderately contaminated urban soils // Water, Air and Soil Pollut. 2007. Vol. 183. P. 69–83.

19. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface soil of Shanghai, China: concentrations, distribution and sources / Y. Liu, L. Chen, J. Zhao, Y. Wei, Z. Pan, X.-Z. Meng, Q. Huang, W. Li // Organic Geochemistry. 2010. Vol. 41. P. 355–362.

20. Nikolic B., Bojovic S., Marin P. D. Morpho-anatomical Traits of Pinus Peuce Needles from Natural Populations in Montenegro and Serbia // Plant Biosystems. 2015. Vol. 150(5). P. 1038–1045.

REFERENCES

1. Badmaeva S. E., Cimmerman V. I. Antropogennoe zagryaznenie atmosfernogo vozduxa gorodov Krasnoyarskogo kraja // Vestnik KrasGAU. 2015. № 2. S. 27–32.

2. Vasilevskaya N. V., Tumarova Yu. M. Ocenka stabil'nosti razvitiya populyacij Pinus sylvestris L. V usloviyax ae'rotoxnogennogo zagryazneniya // Biogeografiya Karelii: tr. Karelskogo nauchnogo centra RAN. Petrozavodsk, 2005. Vy'p. 7. S. 21–25.

3. Geras'kin D. V., Vasil'ev V. G. Dikarev Ocenka metodami bioindikacii toxnogennogo vozdejstviya na populyacii Pinus sylvestris v rajone predpriyatiya po xraneniyu radioaktivny'x otkodov // E'kologiya. 2005. № 4. S. 275.

4. Kizeev A. N. Izmeneniya morfologicheskix i fiziologo-bioximicheskix pokazatelej xvoi sosny' oby'knovennoj v usloviyax ae'rotoxnogennogo zagryazneniya // Molodoj uchenyj. 2011. T. 1. № 3. S. 120–128.

5. Lebedev A. G. Analiz izmenchivosti kolichestvenny'x priznakov xvoi v populyaciyax sosny' oby'knovennoj (Pinus sylvestris L.) // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2014. T. 16, № 5. S. 205–209.

6. Melexova O. P. i dr. Biologicheskij kontrol' okruzhayushhej sredy'. M.: Izdatel'skij centr "Akademiya", 2010. 288 s.

7. Neverova O. A. Primenenie fitoindikacii v ocenke zagryazneniya okruzhayushhej sredy' // Biosfera. 2012. T. 4. № 1. S. 82–92.

8. Panov A. I., Avdeeva E. V. Bioindikaciya urboe'kosistem po morfologicheskim priznakam xvojny'x rastenij // Xvojny'e boreal'noj zony'. T. XXXV, № 1-2. S. 7–14.

9. Skripal'shnikova L. N., Stasova V. V., Plyashech-nik M. A. Ocenka e'kologicheskogo sostoyaniya sosny' oby'knovennoj na urbanizirovanny'x territoriyax krasnoyarskoj lesostepi // Vestnik KrasGAU. 2013. № 11. S. 176–181.

10. Soboleva O. M., Kondratenko E. P., Pinchuk L. G. Kompleksnaya ocenka sostoyaniya assilyacionnogo

apparata sosny' oby'knovennoj v g. Novokuzneczkе // Vestn. Altaj. gos. agrar. un-ta. 2009. № 7. S. 33–36.

11. Soboleva S. V., Belyaeva K. S., Pochekutov I. S. Sosna oby'knoennaya kak bioindikator zagryazneniya atmosfery' // Lesnoj i ximicheskij kompleksy' – problemy' i resheniya: sb. st. po materialam Vseros. na uch.-prakt. konf. / SibGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2017. S. 25–29.

12. Somov E. V., Kucherenosova A. Yu., Olejnik A. A. Rost sosny' oby'knovennoj v zeleny'x nasazhdeniyax Xabarovska: sostoyanie voprosa, metodika issledovaniy, predvaritel'ny'e rezul'taty' // Aktual'ny'e problemy' lesnogo kompleksa. Sb. nauch. tr. po itogam mezhd. nauch.-texn. konf. "Lesnoj kompleks: sostoyanie i perspektivy' razvitiya". Bryansk: BGITA, 2008. 230 s.

13. Yarmishko V. T. Osobennosti rosta i formirovaniya nazemnoj fitomassy' sosny' // Vliyanie promyshlennogo atmosfernogo zagryazneniya na sosnovy'e lesa Kol'skogo poluostrova. L., 1990. S. 55–64.

14. Avdeeva E., Ivanov D., Markelova K. Monitoring of objects urban gardening. Information system quality management of urban sites greening // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. International Science and Technology Conference Earth Science, ISTC EarthScience 2022 – Chapter 3. 2022. S. 042087.

15. Avdeeva E., Panov A. Ecosystem approach to assessing the state of the urbanized environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference Far-EastCon 2019. 2020. S. 022032.

16. Aguil, S. Physiological and biochemical response of Albizzia lebbek (L.) Benth. to coal smoke pollution / S. Aguil, S. H. Ahmad, Z. Reshi [et al.] // Pollution Research. 2003. Vol. 22, № 4. R. 489–493.

17. Bharti V. K., Giri A., Kumar K. Fluoride Sources, toxicity and its amelioration: Reviv. Reviv. Sci Toxicol, 2017. 2(1): 021–032. Doi: 10.17352/aest.000009

18. Linde M., Oborn I., Gustafsson J. P. Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in moderately contaminated urban soils // Water, Air and Soil Pollut. 2007. Vol. 183. P. 69–83.

19. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface soil of Shanghai, China: concentrations, distribution and sources / Y. Liu, L. Chen, J. Zhao, Y. Wei, Z. Pan, X.-Z. Meng, Q. Huang, W. Li // Organic Geochemistry. 2010. Vol. 41. P. 355–362.

20. Nikolic B., Bojovic S., Marin P. D. Morpho-anatomical Traits of Pinus Peuce Needles from Natural Populations in Montenegro and Serbia // Plant Biosystems. 2015. Vol. 150(5). P. 1038–1045.

© Авдеева Е. В., Ровных Н. Л.,
Кочанкина А. Б., 2026

Поступила в редакцию 12.01.2026
Принята к печати 27.04.2026