

УДК 58.084.2+574.21+630*561.21+633.877.3

РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ КРАСНОЯРСКА

Ю. В. Кладько, Л. Н. Скрипальщикова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: KladaJ@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 04.02.2021 г.

Зеленые насаждения городских территорий выполняют важные средообразующие, санитарно-гигиенические и эстетические функции, формируя комфортную для проживания населения среду. Разработка оптимального ассортимента древесных видов для озеленения урбанизированных территорий в современных условиях развития промышленных предприятий особенно актуальна. Нами изучены особенности радиального роста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в последнее время достаточно часто применяемой для создания зеленых насаждений Красноярск. При использовании дендрохронологического метода были определены особенности радиального роста стволовой древесины деревьев, произрастающих в условиях техногенного загрязнения различного состава и интенсивности, и проведен сравнительный анализ с фоновыми представителями сосны обыкновенной. Объектами исследования стали групповые посадки экземпляров вида в парках и рядовые (однорядные) посадки вдоль городских магистралей, подверженные негативному воздействию атмосферных токсикантов (CO, NO, NO₂, SO₂, бенз(а)пирен, сажа, фтористые соединения и т. п.). Выявлено, что на радиальный рост и устойчивость деревьев этого вида наибольшее негативное влияние оказывает суммарное воздействие автотранспортных и промышленных выбросов. Самая низкая среди исследованных модельных деревьев скорость радиального роста сосны обыкновенной установлена в однорядных посадках вдоль крупных магистралей. Подтверждена статистически достоверная (при $p < 0.05$) отрицательная зависимость ширины годичных колец от степени техногенного загрязнения территории (выраженной в ИЗА₅). На основании полученных результатов сформулированы предварительные рекомендации по применению сосны обыкновенной для озеленения в условиях г. Красноярск, которые могут представлять практический интерес для специалистов в области урбоэкологии и зеленого строительства.

Ключевые слова: урбанизированные территории, озеленение, *Pinus sylvestris* L., техногенное загрязнение, ИЗА₅, годичные кольца.

DOI: 10.15372/SJFS20210304

ВВЕДЕНИЕ

Зеленые насаждения на урбанизированных территориях выполняют важные средообразующие, санитарно-гигиенические и эстетические функции, формируя комфортную для проживания населения среду. В последнее время при разработке мероприятий по озеленению населенных пунктов и санитарно-защитных зон предприятий все большее внимание уделяется формированию ассортимента древесных растений, обладающих устойчивостью к техногенным загрязнителям.

В настоящее время сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) довольно широко используется для создания зеленых насаждений на территориях, подверженных техногенному загрязнению (Авдеева, Панов, 2017; Viskari, Kärenlampi, 2000; Stravinskiene et al., 2018), хотя ранее ее применение в озеленении было ограничено, так как данная древесная порода по своим физиологическим характеристикам неустойчива к интенсивному техногенному загрязнению (Кулагин, 1974; Павлов, 2005; Михайлова и др., 2017). Некоторые исследователи (Кучеров, Федорако, 1964; Протопопова, 1972; Кулагин,

1974; Неверова, Николаевский, 2003; и др.) рекомендуют использовать это растение для посадки в пригородных зонах, расположенных в отдалении от источников дыма и газа, а также для создания крупных городских и загородных парков и лесопарков (Лоскутов, 1993). Вместе с тем вопросы техногенного воздействия на представителей этого вида остаются недостаточно изученными.

В последние годы сосна обыкновенная активно вводится в ассортимент древесных растений для озеленения г. Красноярска – крупного промышленного центра, характеризующегося высокой пространственной неоднородностью загрязнения. Оценка степени воздействия загрязнений проводится, главным образом, по стандартному набору признаков, в том числе и по динамике радиального роста ствольной древесины (Кладько, Скрипальщикова, 2019). Годичные радиальные приросты (кольца) формируются деревом ежегодно и могут служить основой для ретроспективного анализа процесса роста и состояния растения на годы и десятилетия назад, а также для прогнозирования его роста. При этом уменьшение ширины годичных колец у растений, находящихся под влиянием выбросов, по сравнению с контролем, произрастающим в более благоприятных экологических условиях, может рассматриваться как результат угнетающего действия техногенных токсикантов на растение (Николаевский, 1964; Арсеньева, Чавчавадзе, 2001; Кирдянов и др., 2014; Kirdyanov et al., 2014; Schekalev et al., 2020).

Цель данной работы – выявить особенности радиального роста деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в зеленых насаждениях г. Красноярска в условиях с различной степенью техногенного загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в зеленых насаждениях г. Красноярска, расположенных в долине р. Енисей. Для данной территории характерна однородность ветрового режима на протяжении всего года. Вегетационный период длится 156 дней (Климат..., 1982). Воздушная среда районов г. Красноярска характеризуется неоднородностью загрязнения различными веществами. Распространение воздушных токсикантов в городе зависит от рельефа местности, ветрового режима, особенностей хозяйственного использования территории и застройки.

На территории г. Красноярска в 2020 г. были заложены четыре пробные площадки (ПП):

1) ПП «Дендрарий ИЛ СО РАН», на которой практически отсутствуют источники загрязнения и ее можно считать условно чистой.

2) ПП «Ул. Е. Стасовой» с низким уровнем загрязнения автотранспортом (CO, NO, NO₂, SO₂, бенз(а)пирен и др.).

3) ПП «Парк «Гвардейский», с высоким уровнем загрязнения за счет выбросов промышленных предприятий цветной металлургии и теплоэнергетического комплекса (CO, NO, NO₂, SO₂, сажа, фтористые соединения, бенз(а)пирен, сероводород и др.). Также особенностью ПП является негативное воздействие в холодное время года незамерзающего зеркала р. Енисей. Оно способствует образованию в воздухе тумана и изморози на деревьях, абсорбирующих атмосферные токсиканты.

4) ПП «Ул. 9 Мая», с высоким уровнем загрязнения суммарными выбросами автотранспорта и промышленных предприятий цветной металлургии и теплоэнергетического комплекса (Хлебопрос и др., 2012; Государственный..., 2020).

На каждой ПП было отобрано по 5 модельных деревьев сосны обыкновенной, находящихся в генеративной стадии развития. В пределах одной ПП представители вида имели одинаковый класс возраста и, по визуальной оценке, приблизительно одинаковые морфометрические показатели. Модельные экземпляры отбирали в соответствии с инженерно-топографическими планами территорий таким образом, чтобы вблизи них не проходили подземные коммуникации. На ПП «Дендрарий ИЛ СО РАН» и ПП «Парк «Гвардейский»» деревья были высажены группами; на ПП «Ул. Е. Стасовой» и ПП «Ул. 9 мая» – в однорядные посадки. Чтобы исключить ценотический эффект конкуренции, выбирались деревья, высаженные на расстоянии не менее 3 м друг от друга.

С каждого модельного дерева при помощи бурава Пресслера отобрали по одному керну по случайному радиусу у комля, на 25–30 см выше поверхности почвы. Датировку и измерение ширины годичных колец на кернах проводили по стандартной в дендрохронологии методике (Шиятов и др., 2000) с использованием полуавтоматической установки LINTAB-V 3.0 (Германия) со стандартным пакетом программного обеспечения TSAP V 3.6. Измерения проводились с точностью 0.01 мм. Точность датировки проверяли в программе COFECNA. Путем усредне-

ния индивидуальных абсолютных хронологий для каждой ПП получены усредненные кривые хода радиального роста сосны обыкновенной (т.е. изменение ширины годовых колец со временем). Сравнительный анализ их между собой и с индексом загрязнения атмосферы $ИЗА_5$ позволил выявить особенности роста деревьев сосны в зависимости от степени загрязненности места произрастания. $ИЗА_5$ – это комплексный показатель уровня загрязнения атмосферы (безразмерная величина), полученный для города в целом и рассчитанный по пяти приоритетным загрязняющим веществам с учетом их опасности и концентрации в атмосфере в долях ПДК (Руководство..., 1991).

Согласно принятой в исследовании научной гипотезы определено, что все районы имеют свой уровень интенсивности загрязнения (Государственный..., 2020), но динамика интенсивности загрязнения на них из года в год синхронна тренду $ИЗА_5$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На ПП «Дендрарий ИЛ СО РАН» у деревьев сосны обыкновенной классическая форма кривой хода радиального роста с максимумом, характерным для первого–третьего классов возраста. Данная форма кривой наблюдается у деревьев, не испытывающих угнетения негативными факторами окружающей среды (см. рисунок, а).

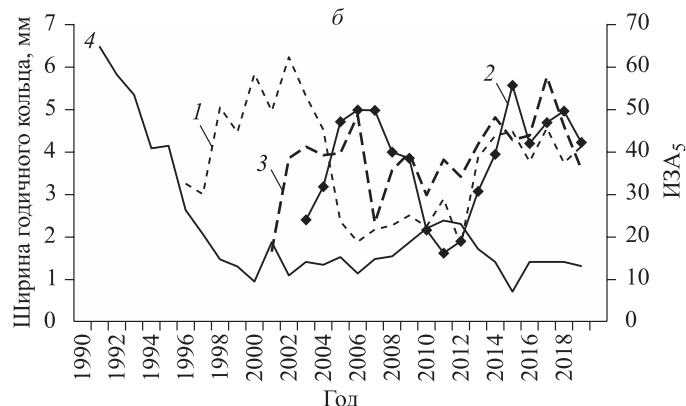
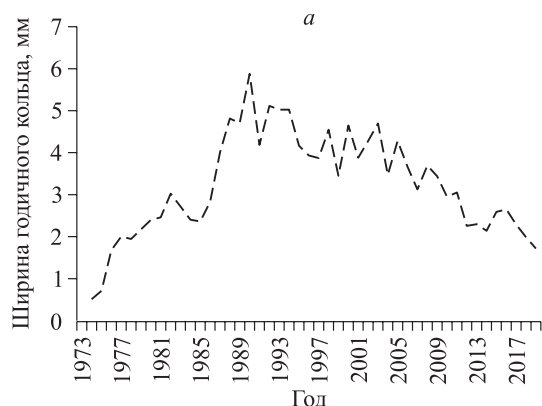
В ходе исследования выявлено, что на загрязненных территориях динамика радиального хода роста исследованных деревьев в первые годы роста схожа с динамикой роста деревьев на условно чистой территории (ПП «Дендрарий ИЛ СО РАН»), а затем, в зависимости от экологических условий места произрастания, на каж-

дой ПП радиальный рост исследованных деревьев приобретает свои особенности.

На ПП 1 «Парк «Гвардейский»» активный рост в первые 7 лет (1996–2002 гг.) сменяется длительным периодом угнетения (см. рисунок, б, кривая 1). По мере дальнейшего увеличения возраста деревьев средний радиальный прирост постепенно стабилизируется и с 2012 г. сменяется периодом постепенного увеличения интенсивности роста.

Установлено, что ширина годовых колец тесно связана с индексом загрязнения атмосферы ($ИЗА_5$); связь отрицательная с коэффициентом корреляции $R = -0.51$ (уровень достоверности $R = \pm 0.29$ при $p < 0.05$) (Лакин, 1973), т.е. чем выше $ИЗА_5$, тем уже годовые кольца (см. рисунок, б). Сравнительно высокая интенсивность радиального роста с 2012 г., очевидно, обусловлена снижением уровня загрязнения (см. рисунок, б, кривая 4).

На ПП 2 «Ул. Е. Стасовой» (см. рисунок, б, кривая 2) рост сосны обыкновенной аналогичен росту деревьев данного вида на ПП «Парк «Гвардейский»». При этом здесь она выражено реагирует только на пиковые значения загрязнения (2010–2012 гг.). Сначала был короткий период активного роста дерева, а с 2008 по 2012 г. последовало его угнетение. После этого интенсивность радиального роста увеличивалась до максимального значения в 2015 г. и в последующем стабилизировалась. Вероятно, что здесь, как и на ПП «Парк «Гвардейский» с 2012 г. улучшились условия произрастания в связи с уменьшением уровня $ИЗА$ (см. рисунок, б, кривая 4). Корреляция между шириной годовых колец модельных деревьев и индексом загрязнения атмосферы отрицательная, $R = -0.81$ (уровень достоверности $R = \pm 0.34$ при $p < 0.05$).



Ширина годовых колец со временем у сосны обыкновенной, произрастающей в условиях фона (на ПП «Дендрарий ИЛ СО РАН») (а) и антропогенной нагрузки разной степени (б) (ПП «Парк «Гвардейский»» (1); ПП «Ул. Е. Стасовой» (2); ПП «Ул. 9 Мая» (3); уровень $ИЗА_5$ (4).

На ПП 4 «Ул. 9 Мая» (см. рисунок, б, кривая 3) радиальный прирост имеет не столь выраженную, но схожую динамику с ПП 2 и 3. На ПП «Ул. 9 Мая» отмечена статистически достоверная отрицательная корреляционная связь между шириной годичных колец модельных экземпляров сосны обыкновенной и ИЗА₅ ($R = -0.41$ при уровне достоверности $R = \pm 0.33$, $p < 0.05$). Максимальные значения радиального прироста на ПП 4 достигались несколько позже, в 2017 г., в то время как на ПП 2 и 3 – в 2014 и 2015 гг., а уровень ИЗА₅ снизился в 2012 г. Из анализа кривых (см. рисунок, б) и значений коэффициентов корреляции следует, что сосна обыкновенная на ПП 4 в меньшей степени подвержена негативно-му влиянию загрязнения и реагирует на него с некоторым запаздыванием по сравнению с сосной на ПП 2 и 3.

Выявлена статистически достоверная ($p < 0.05$) отрицательная корреляция между шириной годичных колец и степенью техногенного загрязнения места произрастания дерева (выраженной в ИЗА₅), чем выше уровень загрязнения участка, тем меньше ширина формирующихся в этот год годичных колец. Данный вывод согласуется с результатами ранее проведенных исследований, подтверждающих уменьшение радиального прироста ствола как достаточно значимую ответную реакцию на техногенное загрязнение (Скрипальщикова и др., 2009; Пшеничникова, Скрипальщикова, 2014; Skripalshchikova et al., 2009). Для одной и той же породы в однотипных условиях роста радиальный прирост можно использовать для сравнительной оценки величины этой реакции (несмотря на то, что на радиальный рост воздействует множество факторов окружающей среды, и он относится к неспецифическим параметрам).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают, что сосна обыкновенная является древесной породой, неустойчивой к атмосферным загрязнителям. Можно рекомендовать ее для высадки на урбанизированных территориях только на участках с низким уровнем техногенного загрязнения.

Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику лаборатории лесной генетики и селекции Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН А. П. Барченкову за помощь в отборе материала.

Исследование проведено в рамках базового проекта ФИЦ КНЦ СО РАН № 0287-2021-0008 «Природная и антропогенная динамика таежных лесов Средней Сибири в условиях меняющегося климата».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Авдеева Е. В., Панов А. И. Экологический мониторинг посадок сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на объектах озеленения города Красноярска // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 49. С. 52–55 [Avdeeva E. V., Panov A. I. Ekologicheskiy monitoring posadok sosny obyknovnoy (*Pinus sylvestris* L.) na obektakh ozeleneniya goroda Krasnoyarska (Environmental monitoring of the pine of the pine ordinary (*Pinus sylvestris* L.) on the objects of the city organization of the Krasnoyarsk city) // Aktualnye problemy lesnogo kompleksa (Actual problems of forest complex). 2017. N. 49. P. 52–55 (in Russian with English abstract)].
- Арсеньева Т. В., Чавчавадзе Е. С. Эколого-анатомические аспекты изменчивости древесины сосновых из промышленных районов Европейского Севера. СПб.: Наука, 2001. 108 с. [Arseneva T. V., Chavchavadze E. S. Ekologo-anatomeskie aspekty izmenchivosti drevesiny sosnovykh iz promyshlennykh rayonov Evropeyskogo Severa (Ecological and anatomical aspects of variability of pine wood from industrial regions of the European North). St. Petersburg: Nauka (Science), 2001. 108 p. (in Russian)].
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2019 году». Красноярск: ЦРМПиООС, 2020. 314 с. [Gosudarstvennyy доклад «O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy v Krasnoyarskom krae v 2019 godu» (State report «On the state and protection of the environment in Krasnoyarsk Krai in 2019»). Krasnoyarsk: TsRMPiOOS, 2020. 314 p. (in Russian)].
- Кирдянов А. В., Мыглан В. С., Пименов А. В., Кнорре А. А., Экарт А. К., Ваганов Е. А. Динамика усыхания лиственницы сибирской в зоне влияния техногенных эмиссий предприятий Норильского промышленного района // Сиб. экол. журн. 2014. Т. 21. № 6. С. 945–952 [Kirdyanov A. V., Myglan V. S., Pimenov A. V., Knorre A. A., Ekart A. K., Vaganov E. A. Dinamika usykhaniya listvennitsy sibirskoy v zone vliyaniya tekhnogennykh emissiy predpriyatiy Noril'skogo promyshlennogo rayona (Die-off dynamics of Siberian larch under the impact of pollutants emitted by Norilsk enterprises) // Sib. ecol. zhurn. (Sib. Ecol. J.). 2014. V. 21. N. 6. P. 945–952 (in Russian with English abstract)].
- Кладько Ю. В., Скрипальщикова Л. Н. Методика комплексной биоиндикационной оценки устойчивости древесных растений к техногенному загрязнению на урбанизированных территориях // Сиб. лесн. журн. 2019. № 6. С. 27–38 [Klad'ko Yu. V., Skripal'shchikova L. N. Metodika kompleksnoy bioindikatsionnoy otsenki ustoychivosti drevesnykh rasteniy k tekhnogennomu zagryazneniyu na urbanizirovannykh territoriyakh (Methods of complex bioindicative assessment of life state patterns

- of woody plants under industrial pollutions on urbanized territories) // *Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.)*. 2019. N. 6. P. 27–38 (in Russian with English abstract)].
- Климат Красноярска* / ред. Ц. А. Швер, А. С. Герасимова. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 231 с. [*Klimat Krasnoyarska* (Climate of Krasnoyarsk) / Ts. A. Shver, A. S. Gerasimova (Ed.). Leningrad: Gidrometeizdat, 1982. 231 p. (in Russian)].
- Кулагин Ю. З.* Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с. [*Kulagin Yu. Z.* Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda (Woody plants and industrial environment). Moscow: Nauka (Science), 1974. 125 p. (in Russian)].
- Кучеров Е. В., Федорако Б. И.* Влияние промышленных загрязнений на растительность Башкирской АССР // Охрана природы на Урале. Свердловск, 1964. Вып. 4. С. 163–168. [*Kuchеров E. V., Fedorako B. I.* Vliyanie promyshlennykh zagryazneniy na rastitelnost Bashkirskoy ASSR (Impact of industrial pollution on the vegetation of the Bashkir ASSR) // *Okhrana prirody na Urale* (Protection of nature in the Urals). Iss. 4. Sverdlovsk, 1964. P. 163–168 (in Russian)].
- Лакин Г. Ф.* Биометрия: учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1973. 344 с. [*Lakin G. F.* Biometriya: ucheb. posobie. (Biometrics. Tutorial). Moscow: Vyssh. shkola, 1973. 344 p. (in Russian)].
- Лоскутов Р. И.* Декоративные древесные растения для озеленения городов и поселков. Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 1993. 184 с. [*Loskutov R. I.* Dekorativnye drevesnye rasteniya dlya ozeleneniya gorodov i poselkov (Ornamental woody plants for landscaping cities and settlements). Krasnoyarsk: Krasnoyarsk. gos. un-t (Krasnoyarsk St. Univ.), 1993. 184 p. (in Russian)].
- Михайлова Т. А., Калугина О. В., Шергина О. В.* Динамика состояния сосновых лесов Предбайкалья в условиях воздействия антропогенных факторов // *Сиб. лесн. журн.* 2017. № 1. С. 44–55 [*Mikhaylova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V.* Dinamika sostoyaniya sosnovykh lesov Predbaykalya v usloviyakh vozdeystviya antropogennykh faktorov (The dynamics of pine forests in Prebaikalia under anthropogenic impact) // *Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.)*. 2017. N. 1. P. 44–55 (in Russian with English abstract)].
- Неверова О. А., Николаевский В. С.* Оценка устойчивости древесных насаждений по степени нарушения ассимиляционного аппарата и крон деревьев // *Лесн. хоз-во.* 2003. № 6. С. 31–32 [*Neverova O. A., Nikolaevskiy V. S.* Otsenka ustoychivosti drevesnykh nasazhdeniy po stepeni narusheniya assimilyatsionnogo apparata i kron derevev (Assessment of the stability of woody stands by the degree of disturbance of the assimilation apparatus and tree crowns) // *Lesn. khoz-vo* (Forestry). 2003. N. 6. P. 31–32 (in Russian)].
- Николаевский В. С.* Некоторые анатомо-физиологические особенности древесных растений в связи с их газоустойчивостью в условиях медеплавильной промышленности Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск: Ин-т биол. УФ АН СССР, 1964. 41 с. [*Nikolayevskiy V. S.* Nekotorye anatomo-fiziologicheskie osobennosti drevesnykh rasteniy v svyazi s ikh gazoustoychivostyu v usloviyakh medeplavilnoy promyshlennosti Srednego Urala: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk (Some anatomical and physiological features of woody plants in connection with their gas resistance in the conditions of the copper-smelting industry in the Middle Urals: Cand. Biol. Sci. (PhD) thesis). Sverdlovsk: In-t biol. UF AN SSSR (Inst. Biol., Ural Br. USSR Acad. Sci.), 1964. 41 p. (in Russian)].
- Павлов И. Н.* Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2005. 359 с. [*Pavlov I. N.* Drevesnye rasteniya v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya (Woody plants in conditions of technogenic pollution). Ulan-Ude: BNTs SO RAN (Buryat Sci. Center, Sib. Br. Rus. Acad. Sci.), 2005. 359 p. (in Russian)].
- Протопопова Е. Н.* Рекомендации по озеленению городов и рабочих поселков Средней Сибири. Красноярск: Красноярский рабочий, 1972. 148 с. [*Protopopova E. N.* Rekomendatsii po ozeleneniyu gorodov i rabochikh poselkov Sredney Sibiri (Recommendations for landscaping cities and workers' settlements in Central Siberia). Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy rabochiy (Krasnoyarsk worker), 1972. 148 p. (in Russian)].
- Пишеничникова Л. С., Скрипальщикова Л. Н.* Влияние высокой антропогенной нагрузки на радиальный прирост сосновых древостоев // *Актуал. пробл. лесн. комплекса.* 2004. № 9. С. 33–36 [*Pshenichnikova L. S., Skripalshchikova L. N.* Vliyanie vysokoy antropogennoy nagruzki na radial'ny prirost sosnovykh drevestoev // *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa* (Actual probl. of forest complex). 2004. N. 9. P. 33–36 (in Russian with English abstract)].
- Руководство по контролю загрязнения атмосферы.* РД 52.04.186-89 (утв. Госкомгидрометом СССР 01.06.1989, Гл. гос. санитарным врачом СССР 16.05.1989). М.: Финансы и статистика, 1991. 615 с. [*Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery.* RD 52.04.186-89 (utv. Goskomgidrometom SSSR 01.06.1989, Gl. gos. sanitarnym vrachom SSSR 16.05.1989) (Guidelines for the control of air pollution. RD 52.04.186-89 (approved by the State Committee for Hydromet of the USSR 06.01.1989, the Chief State Sanitary Doctor of the USSR 05.16.1989)). Moscow: Finansy i statistika (Finance and statistics), 1991. 615 p. (in Russian)].
- Скрипальщикова Л. Н., Стасова В. В., Перевозникова В. Д., Зубарева О. Н., Татаринцев А. И.* Влияние комплекса техногенных и рекреационных нагрузок на развитие тканей ствола сосны обыкновенной в Красноярской лесостепи // *Изв. РАН. Сер. биол.* 2009. № 5. С. 618–626 [*Skripalshchikova L. N., Stasova V. V., Perevznikova V. D., Zubareva O. N., Tatarintsev A. I.* Vliyanie kompleksa tekhnogennykh i rekreatsionnykh nagruzok na razvitie tkaney stvola sosny obyknovnoy v Krasnoyarskoy lesostepi (Effect of the complex of technogenic and recreational loads on development of trunk tissues of Scotch pine in the Krasnoyarsk forest-steppe) // *Izv. RAN. Ser. biol. (Proc. Rus. Acad. Sci. Ser. Biol.)*. 2009. N. 5. P. 618–626 (in Russian with English abstract)].
- Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Нурзбаев М. М., Хантемиров Р. М.* Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-метод. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с. [*Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirdyanov A. V., Kruglov V. B., Mazepa V. S., Naurzbaev M. M.,*

- Khantemirov R. M.* Metody dendrokronologii. Ch. I. Osnovy dendrokronologii. Sbor i poluchenie drevesno-koltsevoy informatsii: ucheb.-metod. posobie. (Methods of dendrochronology. Part I. Fundamentals of dendrochronology. Collecting and obtaining tree-ring information: tutorial). Krasnoyarsk: KrasGU (Krasnoyarsk St. Univ.), 2000. 80 p. (in Russian)].
- Хлебопрос Р. Г., Тасейко О. В., Иванова Ю. Д., Михайлюта С. В.* Красноярск. Экологические очерки. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2012. 130 с. [*Khlebopros R. G., Taseyko O. V., Ivanova Yu. D., Mikhaylyuta S. V.* Krasnoyarsk. Ekologicheskie ocherki (Krasnoyarsk. Ecological essays). Krasnoyarsk: Sib. Fed. Univ., 2012. 130 p. (in Russian)].
- Kirdyanov A. V., Myglan V. S., Pimenov A. V., Knorre A. A., Ekart A. K., Vaganov E. A.* Die-off dynamics of Siberian larch under the impact of pollutants emitted by Norilsk enterprises // *Contemp. Probl. Ecol.* 2014. V. 7. Iss. 6. P. 679–684 (Original Rus. Text © A. V. Kirdyanov, V. S. Myglan, A. V. Pimenov, A. A. Knorre, A. K. Ekart, E. A. Vaganov, 2014, publ. in *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal*. 2014. V. 21. N. 6. P. 945–952).
- Schekalev R. V., Martynyuk A. A., Melekhov V. I.* Variability properties of *Pinus sylvestris* L. wood in growing stock under technogenic impact // *IVUZ. Lesn. zhurn.* (Rus. For. J.) 2020. N. 4 (376). P. 113–122 (in English with Russian abstract and references)].
- Skripalshchikova L. N., Stasova V. V., Perevoznikova V. D., Zubareva O. N., Tatarintsev A. I.* Effect of the complex of technogenic and recreational loads on development of trunk tissues of scotch pine in the Krasnoyarsk forest-steppe // *Biol. Bull.* 2009. V. 36. N. 5. P. 524–531 (Original Rus. Text © L. N. Skripalshchikova, V. V. Stasova, V. D. Perevoznikova, O. N. Zubareva, A. I. Tatarintsev, 2009, publ. in *Izvestiya Akademii Nauk. Seriya Biologicheskaya*. 2009. N. 5. P. 618–626).
- Stravinskiene V., Bartkevičius E., Abraitiene J., Dautarte A.* Assessment of *Pinus sylvestris* L. tree health in urban forests at highway sides in Lithuania // *Glob. Ecol. Conserv.* 2018. V. 16. Article number: e00517.
- Viskari E.-L., Kärenlampi L.* Roadside Scots pine as an indicator of deicing salt use – a comparative study from two consecutive winters // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2000. V. 122. Iss. 3–4. P. 405–419.

RADIAL GROWTH OF SCOTS PINE IN THE GREEN STANDS OF KRASNOYARSK CITY

Yu. V. Klad'ko, L. N. Skripal'shchikova

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: KladaJ@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru

Green spaces of urban areas perform important environmental, sanitary, hygienic and aesthetic functions, forming a comfortable environment for the city population. In order to develop and update the optimal assortment of woody species for landscaping urbanized areas, this study identified the features of radial growth of a species widely used in planting greenery and landscaping: Scots pine *Pinus sylvestris* L. The features of the radial growth of the stem wood of Scots pine, growing in the green spaces of the city of Krasnoyarsk under the influence of technogenic pollution (of various composition and intensity) and background, were determined. The objects of research were group plantings of trees in parks and ordinary (single-row) plantings along the city highways, exposed to the negative effects of atmospheric toxicants (CO, NO, NO₂, SO₂, benzo(a)pyrene, soot, fluoride compounds, etc.). The study was carried out using the standard dendrochronological method. It was revealed that the total impact of motor transport and industrial emissions had the most negative effect on the radial growth and stability of trees of this species. It was found that in single-row plantings along large highways, the lowest rate of radial growth of Scots pine trees was noted. A statistically significant (at $p < 0.05$) negative relationship between the width of annual rings and the degree of technogenic pollution of the territory (expressed in API₅) was confirmed. Based on the results obtained, preliminary recommendations were formulated for the use of Scots pine for landscaping in Krasnoyarsk, which may be of practical interest for specialists in the field of urban ecology and green construction.

Keywords: *urbanized areas, planting of greenery, Pinus sylvestris L., technogenic pollution, API₅, tree rings.*

How to cite: *Klad'ko Yu. V., Skripal'shchikova L. N.* Radial growth of Scots pine in the green stands of Krasnoyarsk city // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2021. N. 3. P. 38–43 (in Russian with English abstract and references).