

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/12>

УДК 630:504.05+581.5



Экологическое состояние почвенного и растительного покрова лесопарка им. Ю.А. Гагарина г. Тюмени

Виктор А. Боев¹, v.a.boev@utmn.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2491-8274>

Виктория В. Иеронова¹ ✉ v.v.ieronova@utmn.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5404-709X>

Александр С. Петухов¹, a.s.petukhov@utmn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2906-174X>

¹ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», 625003, ул. Володарского, 6, г. Тюмень, 625003, Российская Федерация

Аннотация. Лесопарки в городах выполняют ряд важных защитных и рекреационных функций. Однако интенсивное антропогенное воздействие городской среды может привести к деградации лесных парковых биогеоценозов и снизить их способность в создании благоприятной экологической обстановки на занимаемой ими территории. Целью работы являлось определение ключевых факторов, влияющих на экологическое состояние почвы и растительности лесопарка им. Ю.А. Гагарина, что позволит разработать рекомендации по их сохранению. Впервые проведен агрохимический анализ почв лесопарка в условиях городской среды юга Тюменской области. Также определено содержание подвижных форм ряда микроэлементов (Pb, Cd, Cu, Ni) методом атомно-эмиссионной спектрофотометрии. Изучение растительного покрова выполнено с использованием метода пробных площадей. В результате проведенных исследований было установлено, что pH почв лесопарка превышает фоновые значения в 1,6 - 1,8 раз и находится в пределах 5,5 - 7,2. Отмечено высокое содержание органического вещества, массовая доля которого в 1,5 - 4,6 раз больше показателей соответствующих природных аналогов. Содержание подвижных форм всех исследованных микроэлементов в почвах лесопарка превышало фоновые значения, но было ниже ПДК, что связано с отсутствием в городе Тюмени мощных источников атмосферных выбросов изученных металлов. Жизненное состояние изученных деревьев преимущественно можно охарактеризовать как «здоровое» или «ослабленное». Установлено, что рекреационная нагрузка оказывает наиболее заметное влияние на живой напочвенный покров и естественное лесовозобновление. На одном из изученных участков парка отмечена трансформация ярусной структуры фитоценоза в результате распространения инвазивного вида яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.). Результаты исследования могут быть использованы для формирования рекомендаций по снижению рекреационной нагрузки, сохранению природной структуры фитоценозов и экологических функций исследованного лесопарка.

Ключевые слова: лесопарк, почвы городских парков, гумус, микроэлементы, жизненное состояние древостоев, городская среда, антропогенная нагрузка, рекреация

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Боев В. А. Экологическое состояние почвенного и растительного покрова лесопарка им. Ю.А. Гагарина г. Тюмени/ В.А. Боев, В.В. Иеронова, А.С. Петухов // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 1 (57). – С. 188-205. – Библиогр.: с. 201-205 (24 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/12>.

Поступила 24.12.2024. Пересмотрена 21.01.2025. Принята 07.02.2025. Опубликовано онлайн 24.03.2025.

Ecological state of soil and vegetation cover of Yuri Gagarin Urban Forest in Tyumen

Viktor A. Boev¹, v.a.boev@utmn.ru,  <https://orcid.org/0009-0009-2491-8274>

Victoriia V. Ieronova¹ ✉ v.v.ieronova@utmn.ru,  <https://orcid.org/0009-0007-5404-709X>

Alexander S. Petukhov¹, a.s.petukhov@utmn.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-2906-174X>

¹Tyumen State University, 625003, Tyumen, 6, Volodarsky street, 625003, Russian Federation

Abstract. Urban forest parks fulfill several pivotal protective and recreational functions. Nevertheless, the intense anthropogenic impact of the urban environment can result in the degradation of forest park biogeocenoses and reduce their capacity to establish a favorable ecological situation within the territory they occupy. This study aims to determine the key factors influencing the environmental state of the soil and vegetation in the Yu.A. Gagarin forest park, thereby facilitating the development of recommendations for their conservation. The study represents an inaugural agrochemical analysis of forest park soils within the urban environment of the south of Tyumen Region, complemented by the assessment of the content of mobile forms of some microelements. The content of mobile forms of a number of microelements (Pb, Cd, Cu, Ni) was also determined by atomic emission spectrophotometry. The study of vegetation cover was carried out using the sample plot method. The study revealed that the forest park soils exhibit a pH level that exceeds the background values by 1.6 to 1.8 times, with a range of 5.5 to 7.2. Additionally, a notable finding was the high content of organic matter, which was observed to be 1.5 to 4.6 times higher compared to the levels found in natural analogs. The content of mobile forms of all studied microelements in the soils of the forest park exceeded the background values. Still, it was below the MAC, which is due to the absence of large sources of atmospheric emissions of the studied metals in Tyumen. The vital state of the studied trees can mainly be characterized as "healthy" or "weakened". The findings indicate that the recreational load has the most noticeable effect on the living soil cover and natural reforestation. In one of the areas of the park under study, a transformation of the storeyed structure of the phytocenosis was observed, resulting from the spread of the invasive *Malus baccata* (L.) Borkh. The results of the study can be used to formulate recommendations for reducing the recreational load, thereby preserving the natural structure of phytocenoses and the ecological integrity of the park.

Keywords: forest park, soils of city parks, humus, microelements, category sanitary state, urban environment, anthropogenic load, recreation

Funding: this research received no external funding.

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Boev V.A., Ieronova V.V., Petukhov A.S. (2025). Ecological state of soil and vegetation cover of Yuri Gagarin Urban Forest in Tyumen. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 1 (57), pp. 188-205 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/12>.

Received 08.12.2024. *Revised* 11.02.2025. *Accepted* 05.03.2025. *Published online* 24.03.2025.

Введение

Непрерывный рост городов, в которых сегодня проживают более половины населения Земли (56%) приводит к усилению давления на все компоненты урбоэкосистем и прежде всего на природные системы, которые являются важной составляющей устойчивости городских территорий [1, 2].

Как показали многочисленные исследования, городские лесопарки выполняют целый ряд функций, оказывающих положительное воздействие на экологическую обстановку на урбанизированных территориях. В работах Н.Д. Ананьева (2023) [3] и V.I. Vasenev (2023) [4] указано, что почвы парков участвуют в поддержании микроклимата, регулировании поверхностного стока, а также могут снижать загрязнение атмосферного воздуха. Растениям лесопарков принадлежит целый ряд защитных, санитарно-гигиенических, водоохраных и рекреационных функций. X. Wang, (2022) [5], J. Costa (2024) [6] и J. Yan (2024) [7] отмечают, что при этом почвы и растительность городских парков подвергаются разным видам антропогенного воздействия, таким как выбросы автомобильного транспорта и промышленных предприятий, наличие строительного и другого мусора, а также привозных грунтов и удобрений.

Для почв лесопарков и городских парков может быть характерна мозаичность, связанная с разными формами землепользования. Кроме антропогенного воздействия на свойства и химический и состав почв городских парков влияние оказывают факторы природной среды и растительность.

Вследствие перечисленных воздействий могут меняться физико-химические характеристики почв городских парков, в том числе pH почвенного раствора и содержание органического углерода. При этом pH почвенного раствора, как правило увеличивается. В ряде исследований выявлено, что содержание гумуса в верхних горизонтах почв может возрасти до 5–8% и более как видно из работы А.Ю. Полякова, 2019 [8].

Значительную роль в экологическом состоянии почвенного и растительного покрова городских парков могут играть тяжелые металлы, которые попадают сюда из различных источников антропогенного происхождения (атмосферные выбросы про-

мышленных предприятий, источников теплоснабжения и автомобильного транспорта), как следует из работ A.S. Vega (2022) [9], Y. Wu (2022) [10] и R. Zhu (2025) [11]. Ряд исследователей отмечают, что тяжелые металлы могут накапливаться в высоких концентрациях в почвах и пыли городских парков, что способствует повышению их биодоступности и увеличивает риск для здоровья человека. Q. Han (2020) [12], Z. Han (2024) [13]. Микроэлементы также оказывают значительное влияние на бактериальные почвенные биоценозы [14].

Помимо загрязнения природных сред, одним из основных видов нагрузки на городские леса, является рекреационная нагрузка, снижающая качественное состояние растительного покрова и вызывающая переуплотнение почв, вследствие прохождения по территории парков многочисленных посетителей [15, 16].

Ухудшение состояния фитоценозов создает благоприятные условия для проникновения в них чужеродных видов [17]. Тишкина Е.А. (2024) [18] отмечают, многие инвазивные виды, внедряющиеся в биоценозы, могут быть видами-трансформерами, способными значительно преобразовывать структуру растительных сообществ, а S.P. Singh Yadav (2024) [19] говорят в своих работах о том, что инвазии снижают видовое разнообразие и вытесняют местные виды. Особую роль, по данным Кучеров И.Б. (2021) [20], в распространении таких видов играют птицы. Воздействие воздействия всего спектра неблагоприятных факторов городской среды может ухудшаться жизненное состояние лесопарковых древостоев. Данный параметр является комплексным показателем, который позволяет делать выводы о влиянии условий произрастания на жизнедеятельность и функционирование растений Уразгильдин Р.В. (2021) [21]. В связи с чем, актуальным является вопрос оценки и мониторинга экологического состояния почвенных и растительных ресурсов парковых зон городов [22].

Город Тюмень отличается высокой степенью озеленения: на его территории насчитывается 42 парка и сквера, которые выполняют важные рекреационные функции. К их числу относятся региональные памятники природы – лесопарк имени Ю.А. Га-

гарина и лесопарк «Затюменский». Лесопарки представляют собой интересный объект для изучения влияния антропогенного воздействия на почву и растительность на урбанизированной территории. Такие исследования позволяют оценить изменения свойств почв и растительности, разработать мониторинговые мероприятия и меры по улучшению экологической ситуации в городских лесах.

В работе представлены результаты исследования экологической обстановки в лесопарке имени Ю.А. Гагарина, которые являются частью исследований экологической обстановки в лесопарках города Тюмени. Лесопарк имени Ю.А. Гагарина находится под воздействием атмосферных выбросов промышленных предприятий, объектов теплоснабжения и автомобильных магистралей с напряженным движением, что может обуславливать накопление в почвах парка изучаемых микроэлементов. Свинец, кадмий и никель являются широко распространенными загрязнителями почв и растений. Медь напротив отличается низким содержанием в серых лесных и дерново-подзолистых почвах юга Тюменской области, что может оказывать негативное влияние на развитие растений. Также изучаемая территория испытывает значительную рекреационную нагрузку.

Целью исследования является оценка экологического состояния растительного покрова и почв на территории лесопарка имени Ю.А. Гагарина.

Материалы и методы

Объектом исследования является лесной биогеоценоз на территории памятника природы регионального значения «Лесопарк им. Ю.А. Гагарина» г. Тюмень. Предмет исследования – экологическое состояние почвенного и растительного покрова, а также их изменения под воздействием антропогенных факторов. Координаты центральной точки объекта 57°10'24" с.ш. и 65°03'06" в.д.

Памятник природы расположен в черте г. Тюмени на левом коренном берегу р. Туры. С севера ограничен Тобольским трактом, с юга – поймой р. Туры, с запада – линией железной дороги, с востока – пос. Мыс. Площадь парка составляет 104,8 га. На 40% общей лесопокрытой площади произрастает

сосна, на 60% - береза повислая. Лесные биогеоценозы представлены чистыми березняками и хвойным лесом. Средний возраст деревьев составляет 70 лет. По опушке леса вдоль поймы попадаются и 100-120-летние деревья, что подтверждает принадлежность данного лесного массива к лесам коренного типа.

В качестве фоновой территории нами был выбран Тюменский государственный заказник (53 585 га), который в наибольшей степени соответствует всем необходимым условиям и имеет на своей территории участки с почвами и растительностью, подобным тем, что находятся в изучаемом лесопарке. Исходными почвами в лесопарке им. Ю.А. Гагарина являются дерново-подзолистые и серые лесные. Заказник расположен в пределах Нижнетавдинского района Тюменской области, в юго-западной части Западно-Сибирской низменности, в системе Тарманского, озерно-болотного массива, в междуречье среднего течения Тавды и Туры. Расстояние от города Тюмени до фоновой территории составляет более 70 км и сюда не достигают атмосферные выпадения, образующиеся в результате выбросов в атмосферу из городских источников загрязнения [23].

Как на территории лесопарка, так и заказника широко распространены смешанные хвойнолиственные, а также чистые березовые и сосновые леса. Для проведения исследований на территории заказника нами были выбраны участки с аналогичными биогеоценозами.

Исследования проводились в летний период 2023-2024 гг. без учета сезонной динамики. Территория парка условно была разделена на 10 частей, разной степени удаленности от автодороги, в каждой из которых были выделены участки с типичными почвами и растительностью для данной территории, на которых проводился анализ почв и закладывались временные пробные площади (рисунок 1).

Почвенные пробы отбирались методом конверта с поверхности горизонта (0–20 см), общий вес каждой пробы составлял 1–1,5 кг. Отбор проб почвы проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83.

На рис. 1 представлена карта отбора проб почв и оценки растительного покрова.

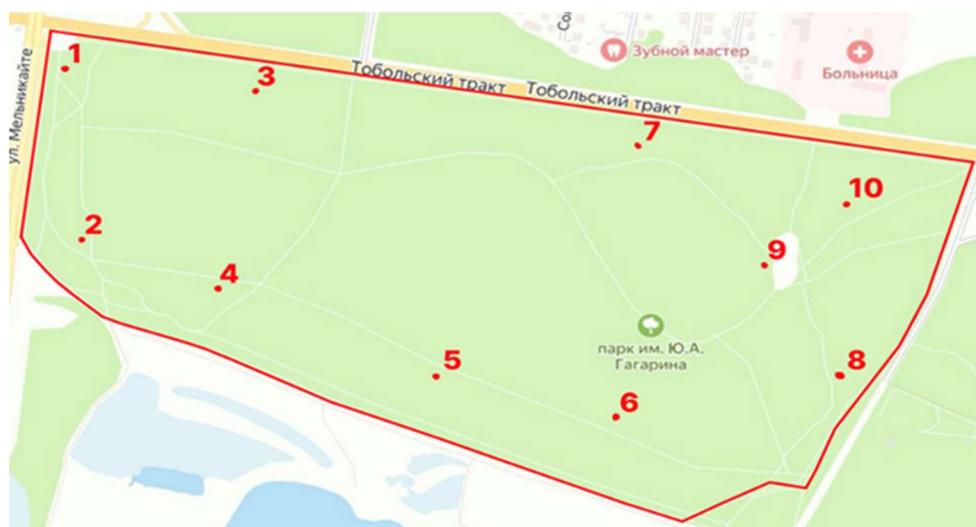


Рисунок 1. Схема размещения пробных площадок на территории лесопарка имени Ю.А. Гагарина

Figure 1. Layout of test sites on the territory of the forest park named after Y. A. Gagarin

Источник: собственная композиция автора.

Source: author's composition

Подготовка отобранных почвенных проб для химико-аналитических исследований проводилась согласно ГОСТ Р ИСО 11464–2015.

В почвах определяли показатели pH водных почвенных суспензий; содержание гумуса по фотометрическому методу Тюрина в модификации ЦИНАО согласно ГОСТ 26213-2021 с помощью фотоэлектроколориметра КФК-3КМ, а также содержание подвижных форм Pb, Cd, Cu, Ni (экстрагент – ацетатно-аммонийный буфер с pH-4,8). Содержания тяжелых металлов было определено в лаборатории Центра коллективного пользования «Рациональное природопользование и физико-химические исследования» Тюменского государственного университета при помощи атомно-эмиссионного спектрофотометра с индуктивно связанной плазмой Plasma Quant PQ 9000.

Для исследования состояния растительного покрова использовался метод пробных площадей с применением стандартных методик [23]. При описании живого напочвенного покрова регистрировались следующие параметры растений – вид, проективное покрытие, жизненность и характер размещения на пробной площади. Для древостоя оценивалась сомкнутость крон, а также проводился сплошной пересчет всех деревьев с определением их морфометрических показателей (высота; диаметр на уровне 1,3 м). Деревья были распределены по ступеням толщины. Все изученные деревья оценивались

по категориям санитарного состояния согласно нормативному документу, действующему в настоящее время [24]. На основе полученных результатов определялось состояние древостоя. Для этого использовалась следующая шкала значений индекса жизненности: 1-1,5 здоровый древостой; 1,6-2,5 ослабленный древостой; 2,6-3,5 сильно ослабленный древостой; 3,6-4,5 усыхающий; 4,6 и более сухостой.

Полученные данные обрабатывались общепринятыми статистическими методами с помощью программ Excel.

Результаты

В ходе исследований нами были определены актуальная pH почвенного раствора; содержание органического вещества (гумуса) в почвах лесопарка, а также содержание подвижной формы (экстрагент – ацетатно-аммонийный буфер с pH-4,8).

Таблица 1

Показатели pH почв лесопарка имени Ю.А. Гагарина

Table 1

pH indicators of forest park soils named after Y. A. Gagarin

| Номер площадки опробования Test site number | Значение pH водной вытяжки pH value of aqueous extract | Характеристика среды Characteristics of the environment |
|--|---|--|
| 1 | 6,1 | Слабокислая среда Slightly acidic environment |
| 2 | 6,8 | Слабокислая среда Slightly acidic environment |
| 3 | 6,2 | Слабокислая среда Slightly acidic environment |
| 4 | 5,5 | Кислая среда Acidic environment |
| 5 | 6,3 | Слабокислая среда Slightly acidic environment |
| 6 | 6,4 | Слабокислая среда Slightly acidic environment |
| 7 | 7,2 | Нейтральная среда neutral environment |
| 8 | 6,5 | Слабокислая среда Slightly acidic environment |
| 9 | 7,1 | Нейтральная среда neutral environment |
| 10 | 6,2 | Слабокислая среда Slightly acidic environment |
| Средняя Average | 6,4 | - |

Источник: собственная композиция автора.

Source: author's composition

Таблица 2

Содержание органического вещества в почвах лесопарка

Table 2

Content of organic matter in forest park soils

| № площадки отбора Sampling site no | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|
| Содержание органического веществ / Organic matter content, (%) | 10,7 | 5,9 | 9,4 | 7,4 | 7,9 | 4,5 | 10,9 | 8,5 | 10,6 | 13,8 |

Источник: собственная композиция автора.

Source: author's composition

Таблица 3

Содержание подвижной формы Pb, Cd, Cu, Ni в мг\кг в почвах лесопарка

Table 3

Content of mobile forms of Pb, Cd, Cu, Ni in mg/kg in forest park soils

| Номер площадки опробования Test site number | Pb | Cd | Cu | Ni |
|--|-----|------|-----|-----|
| 1 | 2,1 | 0,05 | 0,4 | 1,9 |
| 2 | 0,3 | 0,05 | 1,9 | 0,7 |
| 3 | 0,9 | 0,03 | 0,2 | 1,3 |
| 4 | 0,4 | 0,03 | 0,2 | 0,5 |
| 5 | 0,3 | 0,02 | 0,2 | 0,2 |
| 6 | 0,3 | 0,02 | 0,2 | 0,3 |
| 7 | 0,9 | 0,03 | 0,2 | 1,1 |
| 8 | 0,9 | 0,03 | 0,2 | 0,8 |
| 9 | 1,5 | 0,03 | 0,3 | 0,7 |
| 10 | 0,8 | 0,04 | 0,2 | 1,5 |

| | | | | |
|---|-----------|----------------------|---------|---------|
| Размах Score | 0,3 - 2,1 | 0,03-0,05 | 0,2-1,9 | 0,2-1,9 |
| Среднее Average | 0,9 | 0,04 | 0,4 | 0,9 |
| Фон Background | 0,23 | 0,04 | 0,12 | 1,71 |
| ПДК maximum permissible concentration | 6,0 | Отсутствует absent | 3,0 | 4,0 |

Источник: собственная композиция автора.

Source: author's composition

Таблица 4

Основные характеристики древостоя

Table 4

Main characteristics of the tree stand

| № | Состав древостоя Composition of the forest stand | Высота Height | | Диаметр Diameter | | Сомкнутость крон Crown density | Категория состояния Condition category | |
|----|---|--------------------------|-------|----------------------------|-------|-----------------------------------|---|----------|
| | | x+m _x , м m | CV, % | x+m _x , см cm | CV, % | | | |
| 1 | 10Б 10В | 24,5±0,4 | 6,3 | 30,2±4,4 | 23,0 | 0,6 | 1,80/Ослабленный | Weakened |
| 2 | 10Б 10В | 27,5±0,6 | 6,5 | 26,7±1,7 | 32,5 | 0,3 | 1,64/Ослабленный | Weakened |
| 3 | 10Б 10В | 27,3±0,4 | 7,0 | 25,3±1,1 | 21,5 | 0,5 | 2,12/Ослабленный | Weakened |
| 4 | 9С1Б 9В1Р | 22,9±0,6 | 15,8 | 22,9±0,9 | 26,3 | 0,7 | 1,38/Здоровый | Healthy |
| 5 | 10С 10В | 25,5±1,1 | 12,2 | 31,3±1,9 | 30,8 | 0,6 | 1,60/Ослабленный | Weakened |
| 6 | 10С 10В | 24,7±0,7 | 11,4 | 34,8±1,6 | 23,2 | 0,7 | 1,52/Здоровый | Healthy |
| 7 | 10Б 10В | 23,8±0,6 | 5,8 | 28,2±1,4 | 25,2 | 0,7 | 1,96/Ослабленный | Weakened |
| 8 | 10С 10В | 27,1±0,9 | 11,3 | 41,8±2,5 | 29,9 | 0,6 | 1,96/Ослабленный | Weakened |
| 9 | 10Б 10В | 23,6±0,7 | 9,4 | 37,6±1,0 | 25,2 | 0,5 | 1,76/Ослабленный | Weakened |
| 10 | 10Б 10В | 27,0±0,6 | 5,4 | 31,2±1,3 | 21,4 | 0,7 | 1,96/Ослабленный | Weakened |

Источник: собственная композиция автора.

Source: author's composition

Было проведено распределение древостоя сосны обыкновенной и березы повислой по 4-сантиметровым ступням толщины. Результаты данных исследований представлены на рис. 2 и 3.

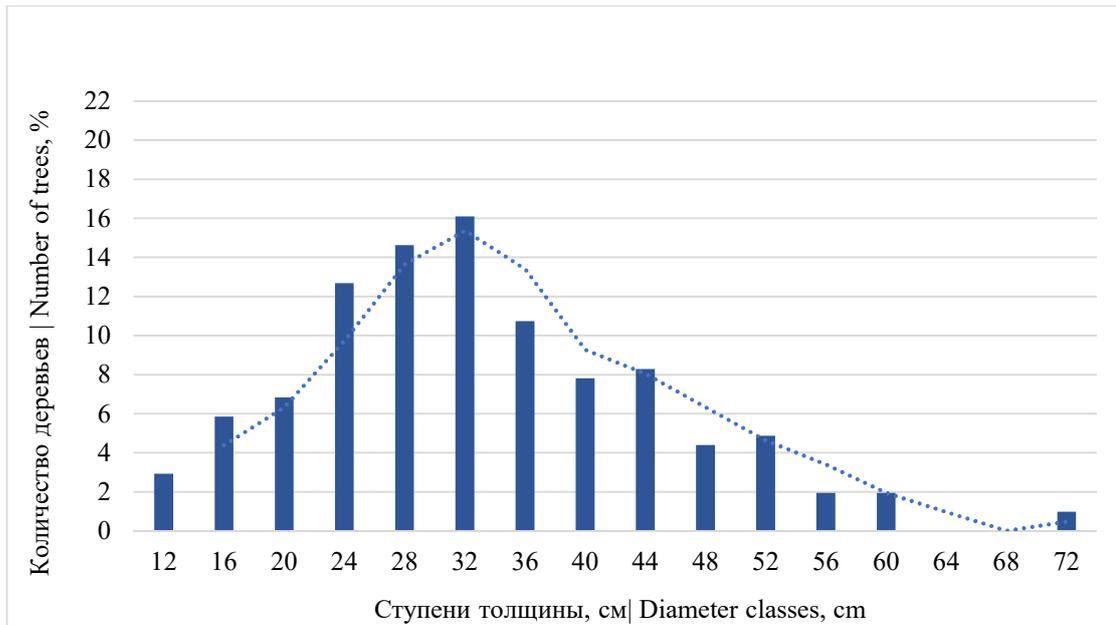


Рисунок 2. Распределение древостоя *Pinus sylvestris* по ступеням толщины стволов

Figure 2. Distribution of *Pinus sylvestris* tree stand by trunk thickness levels

Источник: собственная композиция автора.

Source: author's composition Number of trees

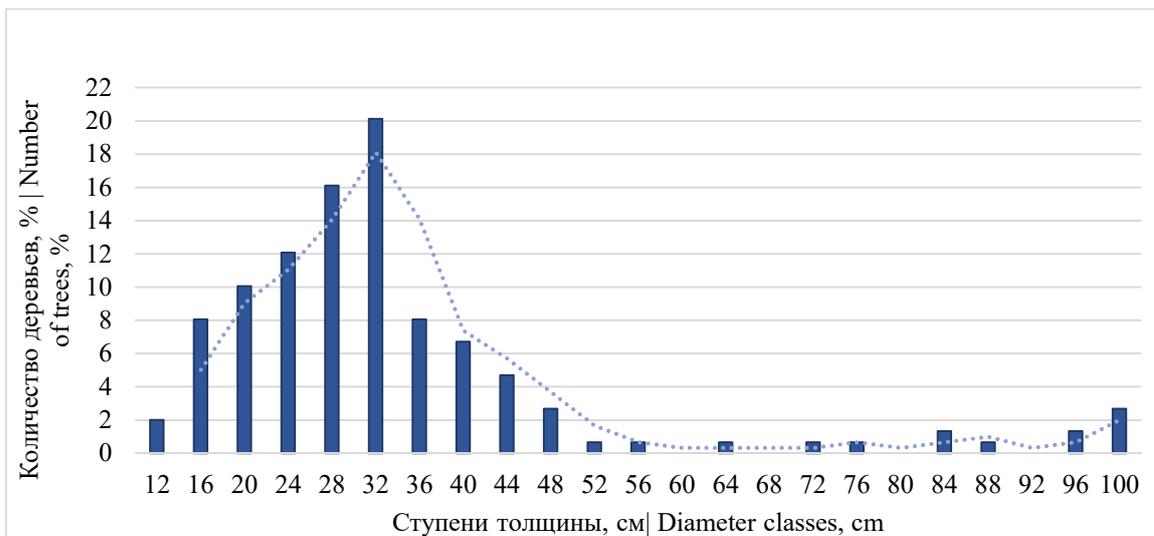


Рисунок 3. Распределение древостоя *Betula pendula* по ступеням толщины стволов

Figure 3. Distribution of *Betula pendula* tree stand by trunk thickness levels

Источник: собственная композиция автора.

Source: author's composition

На рис. 4 приведены результаты по распределению древостоя по категориям санитарного состояния для основных лесообразующих пород.

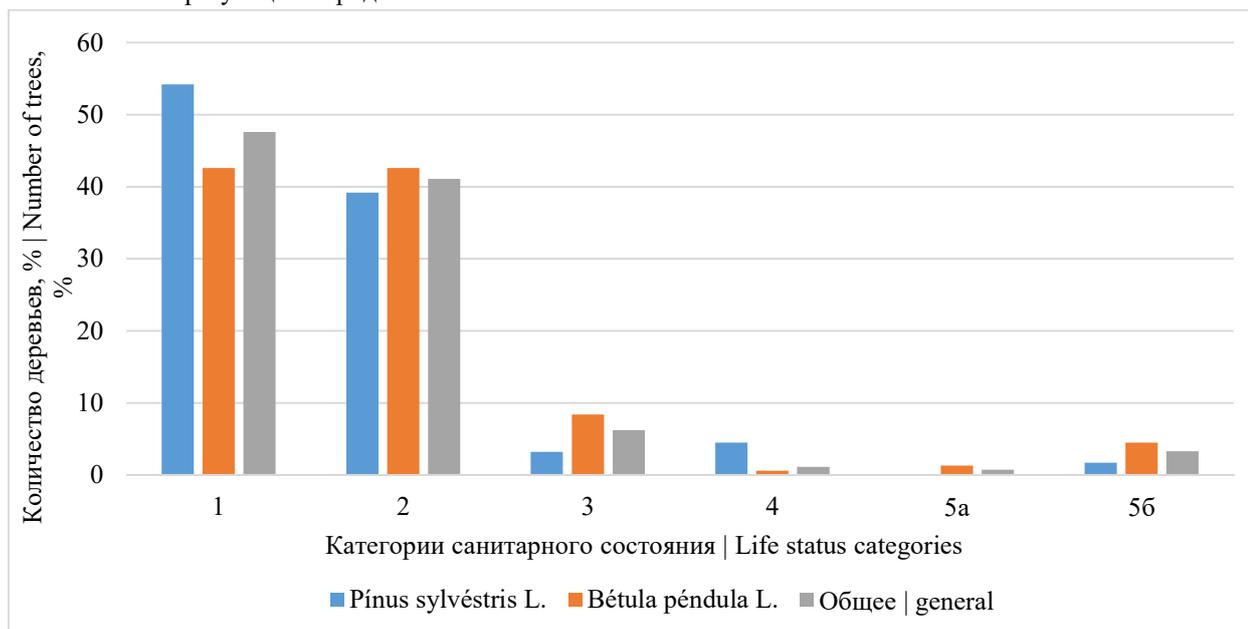


Рисунок 4. Распределение древостоя по категориям санитарного состояния (%)

Figure 3. Distribution of forest stand by life status categories (%)

Источник: собственная композиция автора. Source: author's composition

Обсуждение

Наибольшее значение рН водной вытяжки было зафиксировано в точке 7,0 – 7,2. Наименьший показатель рН водной вытяжки – на точке 4,0 – 5,5. Среднее значение, согласно приведенным в таблице данным, составляет 6,4, что благоприятно для роста и развития растительности.

Как показывают результаты исследований, приведенные в табл. 1, почвы лесопарка отличаются более значительно более высокими значениями рН, от природных дерново-подзолистых почв характерных для юга Тюменской области, рН которых находится в диапазоне от 3,0 до 4,3.

Увеличение показателя рН почвенного раствора почв лесопарка относительно фоновых почв может быть связано с выпадением на поверхность почв пылевых частиц с распложенных вблизи парка строительных площадок, т.к. многие строительные материалы имеют щелочную реакцию.

По данным таблицы наибольшее содержание гумуса наблюдается в точке 10,0 – 13,8%. Как следует из представленных в табл. 2 данных содержание гумуса в почвах лесопарков колеблется в пределах от 4,5 до 13,8%, среднее значение составляет 9,0%. Это значительно превышает содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах фоновых территорий юга Тюменской области, составляющих около 3,0% [30].

Увеличению содержания гумуса в почвах лесопарка возможно способствует характер растительности и ухода.

В ходе выполнения исследований было изучено содержание подвижных форм (экстрагент – ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8) Pb, Cd, Cu, Ni.

По данным табл. 3 содержание подвижных форм свинца колеблется в пределах 0,3 – 2,1 мг/кг. Наибольшее содержания свинца наблюдается в почвах пробной площадки 1 – 2,1 мг/кг, поскольку эта площадка располагается вблизи автомобильной магистрали с интенсивным движением. Источником поступления свинца в почвы на этой территории, вероятно, являются выбросы от автотранспорта.

В начале 2000-х годов в регионе произошел переход автомобильного транспорта на бензин без

добавления тетраэтилсвинца, но может иметь место реликтовое содержание этого элемента, который отличается очень медленным выводом из почвы.

Наименьшее значение содержания подвижных форм свинца наблюдается в почвах площадок 5 и 6 – 0,3 мг/кг, поскольку эти точки располагаются на наибольшем расстоянии от автомобильных магистралей. Среднее значение содержания подвижной формы свинца составляет 0,9 мг/кг, что незначительно превышает фоновые значения, и значительно ниже значения ПДК.

Согласно приведенным в табл. 3 данным, содержание подвижных форм кадмия колеблется в пределах 0,02 – 0,05 мг/кг. Среднее значение – 0,04 мг/кг, что соответствует фоновым значениям. Таким образом, содержание подвижных форм кадмия близко к фоновым вследствие отсутствия источников антропогенного поступления кадмия в почвы парка имени Ю.А. Гагарина.

Как следует из данных табл. 3 содержание подвижных форм меди колеблется в пределах 0,2 – 1,9 мг/кг. Наибольшее содержания меди наблюдается в почвах площадки 2,0 – 1,9 мг/кг, что может быть связано с расположением площадки вблизи полотна автомагистрали. Для большинства почв пробных площадок (7 из 10) содержание подвижной формы меди составляет 0,2 мг/кг. Среднее значение – 0,4 мг/кг, что соответствует фоновым значениям. По сравнению с показателями ПДК для подвижных форм меди среднее содержание подвижных форм меди в пределах парка имени Ю.А. Гагарина значительно ниже.

По данным табл. 3 содержание подвижных форм никеля колеблется в пределах 0,2 – 1,9 мг/кг. Наибольшее содержания никеля наблюдается в почвах пробной площадки 1 – 1,9 мг/кг, которая располагается вблизи автомобильной дороги. Наименьшее значение наблюдается в точке 5 – 0,02 мг/кг. Среднее значение – 0,9 мг/кг, что незначительно ниже фоновых значений и значительно ниже ПДК.

Для выявления зависимости между содержанием подвижных форм Pb, Cd, Cu, Ni и свойствами почвы авторами был проведен корреляционный анализ.

Как следует из представленных данных величины корреляция между рН водной вытяжки и содержанием подвижной формы свинца, кадмия, меди и никеля выражена слабо и составляет 0,1827, 0,0251, 0,2498 и 0,0648 соответственно.

Были также проведены исследования связи между содержанием органического вещества и подвижной формы Pb, Cd, Cu, Ni в почвах лесопарка имени Ю.А. Гагарина.

Была выявлена слабая корреляция между содержанием органического вещества и содержанием подвижной формы Pb, Cd, Cu, Ni соответственно 0,5570, 0,3538, - 0,3471 и 0,7635.

Одним из основных видов антропогенного воздействия на парк, влияющим на жизненное состояние растений, является рекреация. Отмечено, что для живого напочвенного покрова степень его нарушенности напрямую зависит от уровня вытоптанности и развития тропиной сети. На изученных пробных площадях отмечены тропинки с разной степенью дигрессии травяно-кустарничкового яруса. Сильнее всего рекреантами поврежден травяной покров на участках №1, 2, 4 и 9 (до 20-30 % площади). Здесь отмечается общее снижение жизненного состояния травянистых растений и повышение уровня синантропизации флоры. В целом развитие данного яруса различается для древостоев березы и сосны. В березняке он хорошо выражен, проективное покрытие травянистых растений здесь достигает 85-95% и они характеризуются максимальными показателями жизненности (участки №3, 7, 10). В сосняке степень его развития намного ниже, с проективным покрытием растений травяно-кустарничкового яруса от 5 % (участок № 4) до 40 % (участок № 6).

Лесной биоценоз на изученных участках представлен в основном чистыми сосновыми и березовыми древостоями с сомкнутостью крон от 0,5 до 0,7. Исключение составили только участки № 4, где отмечен смешанный состав пород и участок № 2, располагающийся в юго-западной части парка, на котором сомкнутость крон березы не превысила 0,3. В целом с данного края парковой территории характерно наличие редины (рис. 1, табл. 4).

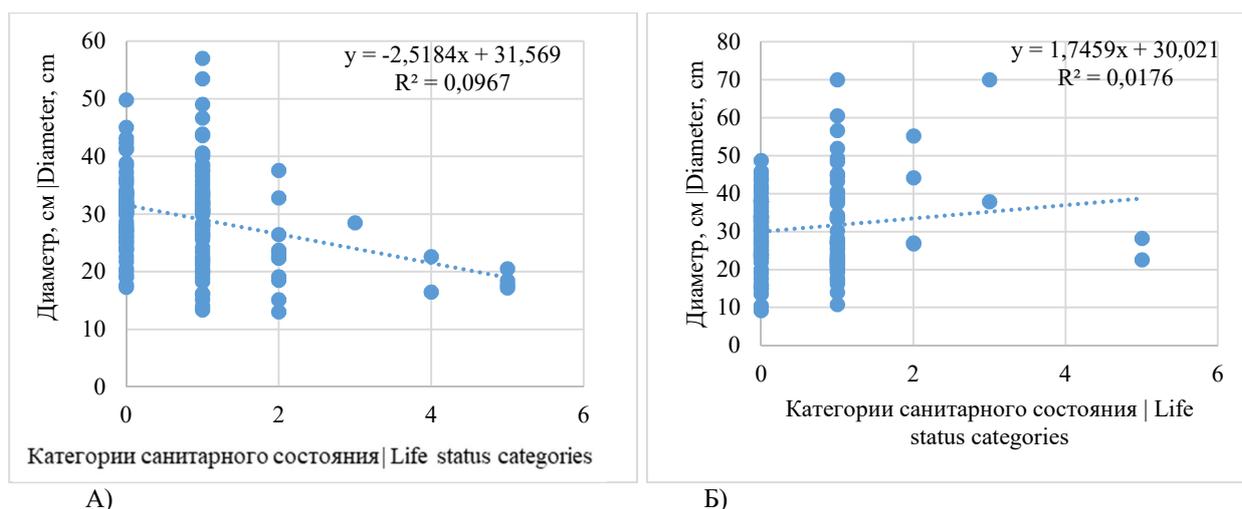
Среднее значение высоты древостоя как в березовом, так и в сосновом древостоях составляет

23-27 м. При этом отмечено, что данный признак имеет среднюю степень изменчивости ($CV - 11,3\% - 15,8\%$) для сосны и слабую для березы ($CV < 9,4\%$). Диаметры стволов на всей изученной территории напротив характеризуются более высокой степенью неоднородности у обеих пород ($CV - 21,4-32,5\%$).

Анализ результатов распределения изученных древостоев сосны и березы по ступеням толщины, представленных на рис. 2 и 3 позволил выделить некоторые закономерности в их строении. Кривая распределения в обоих случаях имеет одну вершину и смещена влево, что в целом свидетельствует о достаточной устойчивости изученных лесных сообществ. Основная доля деревьев в березняке приходится на значения ступеней толщины от 20 до 32 см, а в сосняке 24 - 36 см.

Необходимо отметить, что сосны с самыми большими диаметрами стволов, возраст которых достигает 120 лет, растут со стороны поймы реки Тура. Эти деревья характеризуются наличием длинных расвесистых ветвей без хвои, расположенных на небольшой высоте. Такая широкая крона у сосны обыкновенной формируется, как правило, только на открытом пространстве. Таким образом, можно предположить, что изучаемые лесные биогеоценозы формировались на луговых сообществах. Возможно развитая травянистая растительность в прошлом явилась причиной формирования достаточно большого количества гумуса и обусловила его современную высокую концентрацию в изученных почвенных образцах.

Древостой, как и живой напочвенный покров, испытывает влияние рекреационной нагрузки. Однако оценить интенсивность такого воздействия сложно. Практически весь сухой убирается в ходе санитарных рубок, поэтому вне зависимости от степени деградации напочвенного покрова на изученной территории практически отсутствуют деревья 4 и 5 категории санитарного состояния. Также сложно установить взаимосвязь между состоянием деревьев и морфометрическими параметрами, так корреляция показателей жизненности с диаметром стволов не превысила 0,3 (рис. 5).



А)

Б)

Рисунок 5. Линейная корреляция значений диаметра ствола и жизненного состояния *Betula pendula* (А) и *Pinus sylvestris* (Б)

Figure 3. Linear correlation of trunk diameter and vital state *Betula pendula* (А) and *Pinus sylvestris* (Б)

Источник: собственная композиция автора.

Source: author's composition

Анализ распределения древостоя по санитарному состоянию показал, что большая часть приходится на деревья категории «здоровые» и «ослабленные». При этом для березы эти две группы составили равные доли (42,6 %), а для сосны большая часть растений пришлась на группу здоровых растений (54,2 %). Доли растений 3-5 балла были немногочисленны и не превышали 8,4 % (2 балла, береза), либо совсем отсутствовали (рис. 2). Древостой сосны обыкновенной в целом показал большую устойчивость к антропогенному воздействию, характеризуясь самыми низкими индексами жизненного состояния (табл. 1). Так на площадках № 4 и 6 данный параметр составил 1,38 и 1,52 соответственно, что позволяет отнести древостой к категории здорового. Чуть более ослабленное состояние березового леса (индекс жизненного состояния варьировал от 1,64 до 2,12) может объясняться тем фактором, что с северной и западной стороны лесопарка, где он располагается, прилегают автомагистрали с насыщенным автотранспортным потоком. С северной и восточной стороны крупные автодороги и другие источники негативного антропогенного воздействия в непосредственной близости отсутствуют.

Лесовозобновление изученных биогеоценозов идет в основном за счет основных лесообразующих пород. Подрост представлен преимущественно сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березой повислой (*Betula pendula* Roth), редко встречается осина (*Populus tremula* L.) и липа сердцелистная (*Tilia cordata* Mill). В березовом древостое зарегистрирован единичный подрост дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), его происхождение здесь носит антропогенный характер. Отмечено, что естественное возобновление леса на изученной территории происходит неравномерно. Так, для сосновых древостоев отмечаются как участки с большим количеством всходов и интенсивным развитием подроста 1-2 категории жизненности и высотой до 1,0-1,8 м, так и участки с полным отсутствием подроста и минимальным количеством всходов. Полное отсутствие подроста отмечено на двух исследованных пробных площадях № 4 и № 8 с чистыми сосновыми древостоями. На первой площадке наиболее сильно развита тропиновая сеть, а на второй интенсивное развитие яблони ягодной привело к формированию плотного слоя опада, что затрудняет семенное воспроизводство сосны обыкновенной. В целом данный

параметр на территории лесопарка преимущественно определяется уровнем рекреационной нагрузки и наличия окон возобновления в пологе леса.

Подлесок преимущественно представлен рябиной (*Sorbus aucuparia* L.), черемухой (*Padus avium* Mill.), яблоней (*Malus baccata* (L.) Borkh.) и малиной обыкновенной (*Rubus idaeus* L.). Данный ярус хорошо выражен на всех изученных пробных площадях в березовом лесу. На территории, занятой сосновым лесом, подлесок распространен неравномерно, от практически полного отсутствия на участках № 4 и № 5, до сильно развитого на участке № 8 в юго-восточной части парка. Здесь отмечено активное развитие инвазивного вида яблони ягодной, сформировавшей плотный подлесок со сомкнутостью крон почти 100 %. Вследствие чего на данной территории почти полностью исчез напочвенный травяно-кустарничковый ярус. Вероятно, именно развитие яблони ослабило здесь жизненное состояние древостоя сосны, в сравнении с другими изученными участками соснового леса (табл. 4).

Хочется отметить, что распространение инвазивных древесных растений на территории лесопарка вызывает особую тревогу. Помимо яблони ягодной отмечены инвазии следующих потенциально опасных видов: клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), ирга колосистая (*Amelanchier spicata* Lam.). Все эти виды в будущем могут значительно ослабить жизненное состояние как древостоя, так и напочвенного живого покрова, а при неконтролируемом распространении и развитии трансформировать структуру всего фитоценоза. В настоящее время уже имеются участки с кленом ясенелистным под пологом березового леса, расположенные преимущественно в северо-западной части парка. В настоящее время деревья *Acer negundo* еще достаточно молодые и не сильно влияют на структуру изученных лесных сообществ, но по мере развития могут стать серьезным фактором, трансформирующим исходный биоценоз.

Заключение

На основе анализа полученных в ходе исследования данных, авторы считают, что почвы на территории парка имени Ю.А. Гагарина относятся к типу антропогенно-поверхностно-преобразованных

естественных почв. В почвах парка также отмечено высокое содержание гумуса (от 4,5 до 13 %), что значительно превышает его содержание (1,5-3 %) в фоновых почвах. Возможно это объясняется историей формирования изучаемых биогеоценозов, предположительно сформировавшихся на территории с луговыми сообществами, развитая травянистая растительность которых и явилась причиной формирования достаточно большого количества гумуса. Поскольку высокое содержание органического вещества является важнейшей составляющей плодородия почв, этот фактор может оказывать благоприятное влияние на развитие растений.

Содержание подвижных форм Pb, Cd, Cu, Ni в почвах лесопарка имени Ю.А. Гагарина либо близко к фоновым значениям, либо незначительно превышает их и намного ниже предельно допустимых концентраций этих элементов в почвах.

Наиболее значительным, из изученных тяжелых металлов, является поступление в почвы свинца (0,9 мг/кг), которое почти в 4 раза превышает фоновые значения. Источником данного элемента обычно служат атмосферные выбросы автомобильного транспорта. Однако поступление этого элемента в почвы значительно уменьшилось в 2002 году, в связи с прекращением использования этилированного бензина, следовательно, можно предположить, что в настоящее время его концентрация не будет увеличиваться и останется в пределах ПДК.

Полученные данные впервые позволили установить текущий индекс жизненности древостоев лесопарка им. Ю.А. Гагарина, а также выявить основные угрозы состоянию растительного покрова. Анализ полученных результатов показал, что состояние древостоев лесопарка можно охарактеризовать как «ослабленное» и «здоровое». При этом жизненное состояние древостоя *Pinus sylvestris* L. в сравнении с *Betula pendula* Roth, характеризуются более высокими показателями жизненности. Данный параметр в сосняке варьировал от 1,38 до 1,96, а для березняка размах значений индекса составил 1,64-2,12. Возможно это связано с тем, что березовый лес находится в той части парка, которая граничит с оживленными автомагистралями, в то время как сосновый лес обращен в сторону естественных фитоценозов поймы реки Тура.

Рекреационная нагрузка является одним из основных видов антропогенного воздействия на биогеоценозы лесопарка и оказывает негативное влияние на живой напочвенный покров вследствие вытаптывания его рекреантами. Также отмечено, что участки, подвергающиеся наиболее сильному рекреационному воздействию, характеризовались снижением количества и качества подраста. Установлено, что похожее влияние на изученные фитоценозы оказывает развитие инвазивных видов в подлеске. Так, на одном из участков соснового леса, вследствие обильного распространения яблони ягодной (*Malus baccata* (L.) Borkh.) (сомкнутость крон составила 100 %) отсутствуют всходы и подрост любых лесобразующих пород, а также полностью исчез травяно-кустарничковый ярус. Также в подлеске по всей территории парка отмечены инва-

зии других потенциально опасных видов: клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) и ирга колосистая (*Amelanchier spicata* Lam.).

Дальнейшее развитие выделенных инвазивных видов может привести к еще большему ослаблению жизненного состояния древостоя, трансформации и деградации живого напочвенного покрова и других ярусов, а также помешать процессам естественного лесовозобновления. Для предотвращения увеличения количества древесных инвазий в лесопарке считаем необходимым проведение санитарных рубок и осуществление постоянного контроля за их распространением.

Результаты работы могут быть использованы для разработки мероприятий по управлению лесопарками в условиях умеренного антропогенного влияния.

Список литературы

1. Крюков В.А., Голубева Е.И. Трансформация природоохранных ограничений национального парка "Лосинный остров" // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2022. – Т. 67(1). – С. 181-198. – DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.110>. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48652402>
2. Toledo-Garibaldi M., Puric-Mladenovic D., Smith S.M., Urban forest biotope mapping: A new approach for sustainable forest management planning in Mexico City. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2024; 92: 128205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128205>
3. Ананьева Н.Д. Биофильные элементы (С, N, P) и дыхательная активность микробного сообщества почв лесопарков Москвы и пригородных лесов / Н.Д. Ананьева, Р.Ю. Хатит, К.В. Иващенко [и др.] // Почвоведение. – 2023. – № 1. – С. 102-117. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600780>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50404108>
4. Vasenev V.I., Varentsov D.A., Sarzhanov D.A. Influence of Meso- and Microclimatic Conditions on the CO₂ Emission from Soils of the Urban Green Infrastructure of the Moscow Metropolis. *Eurasian Soil Science*. 2023; 56(9): 1257-1269. DOI: <https://doi.org/10.1134/s106422932360121x>
5. Wang X., Birch G.F., Liu E. Traffic emission dominates the spatial variations of metal contamination and ecological-health risks in urban park soil. *Chemosphere*. 2022; 297: 134155 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134155>
6. Costa J., Furquim S. Aggregation of tropical urban soils in the metropolis of São Paulo, southern Brazil. *Canena*. 2025; 249: 108-681. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108681>
7. Yan J., Zhang J., Wang Q., He X., Zheng H. Stand structural characteristics determine ecosystems multifunctionality of urban forests in Changchun City, Northeast China. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2025; 104: 128647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128647>
8. Полякова А.Ю. Агрохимические свойства почв Дворцового парка Гатчины // Агрофизика. – 2019. – № 2. – С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRP.2019.02.05>. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38202263>
9. Vega A.S., Arce G., Rivera J.I., Acevedo S.E., Reyes-Paecke S., Bonilla C.A., Pastén P. A comparative study of soil metal concentrations in Chilean urban parks using four pollution indexes. *Applied Geochemistry*. 2022; 141: 105230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105230>

10. Wu Y., Liu Q., Ma J., Zhao W., Chen H., Qu Y. Antimony, beryllium, cobalt, and vanadium in urban park soils in Beijing: Machine learning-based source identification and health risk-based soil environmental criteria. *Environmental Pollution*. 2022; 293(11): 118554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118554>
11. Zhu R., Ren Z., Parajuli M., Yuan Y., Yang Q., Yu A. Assessment of potential ecological and health risk of potentially toxic elements in roadside green areas and urban parks *Journal of Environmental. Chemical Engineering*. 2025; 13(10): 115045 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.115045>
12. Han Q., Wang M., Cao J., Gui C., Liu Y., He X., He Y., Liu Y. Health risk assessment and bioaccessibilities of heavy metals for children in soil and dust from urban parks and schools of Jiaozuo, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020; 191(12): 110157 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110157>
13. Han Z., Huijuan W, Huang X., Song X., Shu Y., Wu J., Sun J., Li R., Fan Z. Determination of soil environmental criteria for high-risk trace metals in urban park soils using improved CLEA model. *Journal of Hazardous Materials*. 2024; 480: 136001. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136001>
14. Liu W., Zhang X., Zhang W., He S., Luo S., Han J., Shen D. Metal-driven bacterial community variation in urban and suburban park soils of Shanghai, China. *European Journal of Soil Biology*, 2023; 115: 103475. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103475>
15. Vieillard C., Vidal-Beaudet L., Dagois R., Lothode M., Vadepiet F., Gontier M., Schwartz C., Ouvrard S. Impacts of soil de-sealing practices on urban land-uses, soil functions and ecosystem services in French cities. *Geoderma Regional*. 2024; 38: e00854. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00854>
16. Исаченко Т.Е., Исаченко Г.А., Озерова С.Д. Оценка рекреационной нарушенности и регулирование нагрузок на особо охраняемых природных территориях Санкт-Петербурга//Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2020. – 65 (1). – С.16–32. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.102>. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42905001>
17. Егوشин А.В. Моделирование пространственного распределения наиболее агрессивных чужеродных видов древесных растений на юге Черноморского побережья Краснодарского края, на примере *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud и *Catalpa ovata* G. Don//Российский журнал биологических инвазий. – 2024. – Т. 17(3). – С. 86-101. DOI: <https://doi.org/10.35885/1996-1499-17-3-086-101>. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=69158373>
18. Тишкина Е.А., Семкина Л.А., Шевелина И.В. Особенности внедрения *Acer negundo* L. в лесные парки г. Екатеринбурга//Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2024. – Т. 19(2). – С. 302-313. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2024-19-2-302-313>. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=69822281>
19. Singh Y.S.P., Mehata D.K., Pokhrel S., Ghimire N.P., Gyawali P., Katel S. Invasive alien plant species (Banmara): Investigating its invasive potential, ecological consequences on biodiversity, and management strategies. Umesh Timilsina *Journal of Agriculture and Food Research*. 2024; 15: 101031. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101031>
20. Кучеров И.Б. Об инвазиях орнитохорных кустарников на особо охраняемых природных территориях Санкт-Петербурга и Ленинградской области//Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – №54. – С. 21-44. DOI: <https://doi.org/10.17223/19988591/54/2>. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46342842>
21. Уразильдин Р.В., Кулагин А.Ю. Техногенез и структурно-функциональные реакции древесных видов: повреждения, адаптации, стратегии. Часть 4. Влияние на жизненное состояние и выработку адаптивных стратегий древостоев // Биосфера. – 2021. – Т. 13(4). – С. 206-223. DOI: <https://doi.org/10.24855/biosfera.v13i4.581>. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47567453>.
22. Лихачева Э.А., Некрасова Л.А. Городская среда: экологические проблемы и управление природно-антропогенной системой (с позиций экологической геоморфологии)//Известия Российской академии наук. Серия

географическая. – 2020. – № 4. – С. 577-587. DOI: <https://doi.org/10.31857/S258755662004010X>. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43159610>

23. Полевая геоботаника. Акад. наук СССР. Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова; Под общ. ред. [и с предисл.] Е. М. Лавренко и А.А. Корчагина. - Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР. [Ленингр. отд-ние], 1964. - 3 т. 524 с.

24. Правила санитарной безопасности в лесах: утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012110016?index=4>

References

1. Kryukov V.A., Golubeva E.I. *Transformatsiya prirodookhrannykh ogranichenii natsional'nogo parka "Losinyi ostrov"*. [Elk Island (Losinyi Ostrov) national park: transformation of regulations in urban environment]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle=Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences. 2022, 67(1): 181-198. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.110>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48652402>

2. Toledo-Garibaldi M., Puric-Mladenovic D., Smith S.M., Urban forest biotope mapping: A new approach for sustainable forest management planning in Mexico City. Urban Forestry & Urban Greening. 2024, 92: 128205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128205>

3. Anan'eva N.D., Khatit R.Yu., Ivashchenko K.V. *Biofil'nye elementy (S, N, P) i dykhatel'naya aktivnost' mikrobnogo soobshchestva pochv le-soparkov Moskvy i prigorodnykh lesov* [Soil biophilic elements (C, N, P) and microbial activity in forest parks of Moscow and suburban forests]. Pochvovedenie= Eurasian Soil Science 2023, 1: 102-117. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600780>. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50404108>

4. Vasenev V.I. Influence of Meso- and Microclimatic Conditions on the CO₂ Emission from Soils of the Urban Green Infrastructure of the Moscow Metropolis / V.I. Vasenev, M.I. Varentsov, D.A. Sarzhanov [et al.]. Eurasian Soil Science. 2023, 56(9): 1257-1269. DOI: <https://doi.org/10.1134/s106422932360121x>

5. Wang X., Birch G.F., Liu E. Traffic emission dominates the spatial variations of metal contamination and ecological-health risks in urban park soil. Chemosphere. 2022, 297: 134155 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134155>

6. Costa J., Furquim S. Aggregation of tropical urban soils in the metropolis of São Paulo, southern Brazil. Catena. 2025, 249: 108-681. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108681>

7. Yan J., Zhang J., Wang Q., He X., Zheng H. Stand structural characteristics determine ecosystems multifunctionality of urban forests in Changchun City, Northeast China. Urban Forestry & Urban Greening. 2025, 104: 128647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128647>

8. Polyakova A.Yu. *Agrokhimicheskie svoistva pochv Dvortsovogo parka Gatchiny* [Agrochemical properties of the Gatchina Palace park soil]. Agrofizika=Agrophysica. 2019, 2: 32-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2019.02.05>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38202263>

9. Vega A.S., Arce G., Rivera J.I., Acevedo S.E., Reyes-Paecke S., Bonilla C.A., Pastén P. A comparative study of soil metal concentrations in Chilean urban parks using four pollution indexes. Applied Geochemistry. 2022, 141: 105230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105230>

10. Wu Y., Liu Q., Ma J., Zhao W., Chen H., Qu Y. Antimony, beryllium, cobalt, and vanadium in urban park soils in Beijing: Machine learning-based source identification and health risk-based soil environmental criteria. Environmental Pollution. 2022, 293(11): 118554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118554>

11. Zhu R., Ren Z., Parajuli M., Yuan Y., Yang Q., Yu A. Assessment of potential ecological and health risk of potentially toxic elements in roadside green areas and urban parks Journal of Environmental. Chemical Engineering. 2025, 13(10): 115045. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.115045>

12. Han Q., Wang M., Cao J., Gui C., Liu Y., He X., He Y., Liu Y. Health risk assessment and bioaccessibilities of heavy metals for children in soil and dust from urban parks and schools of Jiaozuo, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020, 191(12): 110157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110157>
13. Han Z., Huijuan W., Huang X., Song X., Shu Y., Wu J., Sun J., Li R., Fan Z. Determination of soil environmental criteria for high-risk trace metals in urban park soils using improved CLEA model. *Journal of Hazardous Materials*. 2024, 480: 136001. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136001>
14. Liu W., Zhang X., Zhang W., He S., Luo S., Han J., Shen D. Metal-driven bacterial community variation in urban and suburban park soils of Shanghai, China // *European Journal of Soil Biology*. 2023, 115: 103475. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103475>
15. Vieillard C., Vidal-Beaudet L., Dagois R., Lothode M., Vade pied F., Gontier M., Schwartz C., Ouvrard S. Impacts of soil de-sealing practices on urban land-uses, soil functions and ecosystem services in French cities. *Geoderma Regional*. 2024, 38: e00854 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00854>
16. Isachenko T.E., Isachenko G.A., Ozerova S.D. *Otsenka rekreatsionnoi narushennosti i regulirovanie nagruzok na osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh Sankt-Peterburga* [Evaluation of recreational disturbance and the regulation of loads on natural protected areas in Saint Petersburg]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*=*Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. 2020, 65(1): 16–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.102>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42905001>
17. Egoshin A.V. *Modelirovanie prostranstvennogo raspredeleniya naibolee agressivnykh chuzherodnykh vidov drevesnykh rastenii na yuge Chernomorskogo poberezh'ya Krasnodarskogo kraja, na primere Paulownia tomentosa (Thunb.) Steud i Catalpa ovata G. Don* [Modeling of spatial distribution of the most aggressive alien species of woody plants (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud and *Catalpa ovata* D. Don) in the south of the Black Sea coast of Krasnodar territory]. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*=*Russian Journal of Biological Invasions*. 2024, 17(3): 86-101. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35885/1996-1499-17-3-086-101>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=69158373>
18. Tishkina E.A., Semkina L.A., Shevelina I.V. *Osobennosti vnedreniya Acer negundo L. v lesnye parki g. Ekaterinburga* [Features of *Acer negundo* L. distribution in forest parks of Ekaterinburg]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*=*RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024, 19(2): 302-313. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2024-19-2-302-313>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=69822281>
19. Singh Yadav S.P., Mehata D.K., Pokhrel S., Ghimire N.P., Gyawali P., Katel S. Invasive alien plant species (Banmara): Investigating its invasive potential, ecological consequences on biodiversity, and management strategies. *Umesh Timilsina Journal of Agriculture and Food Research*. 2024, 15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101031>
20. Kucherov I.B. *Ob invazyakh ornitokhornykh kustarnikov na osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh Sankt-Peterburga i Leningradskoi oblasti* [Invasions of bird-dispersed shrub species in specially protected natural reservations of Saint-Petersburg and Leningrad region]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*.= *Tomsk State University Journal of Biology*. 2021, 54: 21-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17223/19988591/54/2>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46342842>
21. Urazgil'din R.V., Kulagin A.Yu. *Tekhnogenez i strukturno-funktsional'nye reaktsii drevesnykh vi-dov: pov-rezhdeniya, adaptatsii, strategii. Chast' 4. Vliyanie na zhiznennoe sostoyanie i vyrabotku adaptivnykh strategii drevostoev* [Structural and functional responses of arboreal plants to anthropogenic factors: damages, adaptations and strategies. Part 4. Impact on the conditions and the development of adaptive strategies of forests]. *Biosfera*=*Biosfera*. 2021, 13(4): 206-223. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24855/biosfera.v13i4.581>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47567453>.
22. Likhacheva E.A., Nekrasova L.A. *Gorodskaya sreda: ekologicheskie problemy i upravlenie prirodno-antropogennoi sistemoi (s pozitsii ekologicheskoi geomorfologii)* [Urban environment: ecological problems and natural-anthropogenic system's management (from the perspective of environmental geomorphology)]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*=*Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2020, 4: 577-

587. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S258755662004010X>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43159610>

23. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany] Akad. nauk SSSR. Botan. in-t im. V. L. Komarova ; Pod obshch. red. [i s predisl.] E. M. Lavrenko i A.A. Korchagina. - Moskva; Leningrad: Izd-vo Akad. nauk SSSR. [Leningr. otd-nie], 1964. - 3 t.; 524. (In Russ.).

24. *Pravila sanitarnoi bezopasnosti v lesakh: utv. Postanovleniem Pravitel'stva Rossiiskoi Fede-ratsii ot 9 dek-abrya 2020 g. № 2047*. [Sanitary Rules in Forests: approved by the Government Decree of the Russian Federation of December 9th, 2020, No. 2047]. (In Russ.). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012110016?index=4>

Сведения об авторах

Боев Виктор Александрович – канд. биол. наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Володарского, д.6, г. Тюмень, Тюменская область, 625003, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2491-8274>; e-mail: v.a.boev@utmn.ru

✉ *Иеронова Виктория Викторовна* – канд. биол. наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Володарского, д.6, г. Тюмень, Тюменская область, 625003, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5404-709X>; e-mail: v.v.ieronova@utmn.ru

Петухов Александр Сергеевич – канд. хим. наук, ассистент кафедры органической и экологической химии ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Володарского, д.6, г. Тюмень, Тюменская область, 625003, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2906-174X>; e-mail: a.s.petukhov@utmn.ru

Information about the authors

Viktor A. Boev – Cand. Sci (Biol.), Associate Professor, The Department of Geoecology and environmental management, Tyumen State University 625003, Tyumen, 6, Volodarsky street, 625003, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2491-8274>; e-mail: v.a.boev@utmn.ru

✉ *Victoriia V. Ieronova* – Cand. Sci (Biol.), Associate Professor, The Department of Geoecology and environmental management, Tyumen State University, 625003, Tyumen, 6, Volodarsky street, 625003, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5404-709X>; e-mail: v.v.ieronova@utmn.ru

Alexander S. Petukhov – Cand. Sci (Chem.), Assistant at the Department of Organic and Environmental Chemistry Tyumen State University, 625003, Tyumen, 6, Volodarsky street, 625003, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2906-174X>; e-mail: a.s.petukhov@utmn.ru

✉ Для контактов | Corresponding author