

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-447-458

УДК 504.06:502.11

Научная статья / Research article

Оценка экосистемных функций городских лесов по показателям почв и древесных растений

О.В. Шергина¹, А.С. Миронова¹, Ю.С. Тупицына²

¹*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,
Иркутск, Российская Федерация*

²*Педагогический институт Иркутского государственного университета,
Иркутск, Российская Федерация
sherolga80@mail.ru*

Аннотация. Обследованы леса в крупных промышленных городах Иркутской области (Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское), подвергающиеся аэротехногенному загрязнению и рекреационной нагрузке разной степени интенсивности. Современное состояние городской среды оценивалось по комплексу морфоструктурных, физико-химических и токсикологических показателей древесных насаждений (сосна, лиственница, береза) и серых лесных почв – основных средообразующих компонентов. Изучение биогеохимического перераспределения потоков аэротехногенных загрязнителей в городских лесах позволило выявить степень проявления важнейшей экосистемной функции почвенного покрова – способности к аккумуляции и детоксикации техногенных поллютантов и функции древесных растений – способности очищения атмосферного воздуха путем аккумуляции токсикантов в хвое и листьях. Полученные результаты позволили судить об устойчивости древесных растений и почв городских лесов, о возможности очищения и восстановления городской среды.

Ключевые слова: экосистемные функции, зеленые насаждения, естественные почвы, техногенное загрязнение, биогеохимическая миграция элементов

Благодарности и финансирование. Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Иркутской области (проект № 20-44-380016).

© Шергина О.В., Миронова А.С., Тупицына Ю.С., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: *О.В. Шергина* – концептуализация исследований, выполнение лабораторных опытов и сбор данных; *А.С. Миронова* – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация; *Ю.С. Тупицына* – выполнение лабораторных опытов, анализ и интерпретация данных.

История статьи: поступила в редакцию 15.08.2022; доработана после рецензирования 26.08.2022; принята к публикации 12.10.2022.

Для цитирования: Шергина О.В., Миронова А.С., Тупицына Ю.С. Оценка экосистемных функций городских лесов по показателям почв и древесных растений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 447–458. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-447-458>

Assessment of ecosystem functions of urban forests in terms of soil and trees

Olga V. Shergina¹, Anastasiya S. Mironova¹, Yulia S. Tupitsyna²

¹Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

²Pedagogical Institute of Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

sherolga80@mail.ru

Abstract. Forests in the cities of the Angara region (Irkutsk, Angarsk, Usolye-Sibirskoye), exposed to aerotechnogenic pollution and recreational load of varying degrees of intensity, were surveyed. In pine and pine-birch forests on natural gray forest soils, 27 sample plots were studied. The current state of the urban environment was assessed by a set of morphostructural, physico-chemical and toxicological indicators of tree plantations (pine, larch, birch) and gray forest soils – the main habitat-forming components. For the first time on the basis of the obtained data and assessment of ecosystem functions of soil cover and tree plantations the results of studies on purification of atmospheric air and preservation of phytocenoses in the urban environment are presented. The study of biogeochemical redistribution of flows of aerotechnogenic pollutants in urban forests revealed the degree of manifestation of the most important ecosystem function of the soil cover – the ability to accumulate and detoxify man-made pollutants and the function of woody plants – the ability to clean atmospheric air by accumulating toxicants in the needles and leaves. The results obtained made it possible to judge about the sustainability of woody plants and soils of urban forests, about the possibility of purification and restoration of the urban environment.

Keywords: ecosystem functions, green spaces, natural soils, anthropogenic pollution, biogeochemical migration of elements

Acknowledgements and Funding. The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Irkutsk Region (project No. 20-44-380016).

Authors' contributions: *O.V. Shergina* – conceptualization of research, performance of laboratory experiments and data collection; *A.S. Mironova* – conceptualization of research, data analysis and interpretation; *Yu.S. Tupitsyna* – performance of laboratory experiments, data analysis and interpretation.

Article history: received 15.08.2022; revised 26.08.2022; accepted 12.10.2022.

For citation: Shergina OV, Mironova AS, Tupitsyna YuS. Assessment of ecosystem functions of urban forests in terms of soil and trees. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):447–458. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-447-458>

Введение

Изучение городов как своеобразных экологических систем остается актуальной проблемой современной науки. В настоящее время все большее число городских лесов получают статус городских особо охраняемых территорий, что свидетельствует о признании важности природных комплексов для урбанизированных территорий [1]. По нашему мнению, изучение структурной организации городских лесов как естественно сохранившихся зеленых каркасов, а также механизмов взаимообусловленного функционирования древесных растений и почв позволяет адекватно определять устойчивость урбоэкосистемы к антропогенному воздействию (техногенное загрязнение и рекреационная нагрузка). При этом необходимым и важным направлением городской экологии должно быть обеспечение сохранности этих уникальных экологических систем. Одним из перспективных направлений природоохранной деятельности на глобальном, региональном и местном уровнях является оценка экосистемных функций/услуг природных комплексов, которая становится в последнее время неотъемлемой частью зеленой политики и устойчивого развития общества [2].

До настоящего момента на урбанизированных территориях Приангарья не проводились комплексные экологические исследования естественно сохранившихся лесов, образующих зеленый каркас городов. В регионе основными негативными факторами, оказывающими воздействия на городские леса, служат высокая рекреационная нагрузка и техногенное загрязнение [3; 4]. Для улучшения экологической ситуации крайне необходимо помимо сокращения объемов техногенных выбросов и снижения уровня рекреационной нагрузки разрабатывать научно обоснованные подходы улучшения состояния древесных насаждений и почв – средообразующих компонентов городских лесов, играющих важнейшую роль в оздоровлении окружающей среды. Концепция сохранения городских лесов, как естественных экосистем урбанизированных территорий, должна служить основой устойчивого природопользования в регионе. В этом плане важным является получение информативных данных об экосистемных функциях городских лесов Приангарья в условиях техногенного загрязнения и рекреационной нагрузки, поскольку они позволяют оценить, в какой мере реализуема возможность оптимизации городской среды. Этим определяется основная цель исследования – по полученным данным очищения воздушной среды городов путем накопления и детоксикации техногенных загрязнителей почвенным покровом, поглощения и накопления токсикантов в хвое и листьях деревьев, выявить особенности трансформации природной среды в изучаемых урбоэкосистемах и оценить экосистемные функции зеленых насаждений и почв.

Методы и материалы

Обследованы городские леса на урбанизированных территориях Иркутской области, Восточная Сибирь (города Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское) в условиях разного уровня воздействия негативных факторов окружающей среды – рекреационной нагрузки и атмосферного загрязнения, приводящих к экологическому нарушению природных процессов. Полевой этап работ выполнен в июле-августе 2019–2021 гг.

В сосново-березовых лесах, которые располагались в черте застроек и на окраинах городов, проводилась закладка пробных площадей (ПП). Всего было заложено 27 ПП на естественных серых лесных почвах с ненарушенной морфологией почвенного профиля, которые приурочены к одному почвенному округу Иркутско-Черемховской равнины. При описании растений и почв на ПП руководствовались Международной методикой ICP Forests. Фоновые ПП закладывались в сосновых лесах на расстоянии 80 км и более от городов, эти территории характеризуются относительно здоровым состоянием древостоев и ненарушенным почвенным покровом, всего было заложено три фоновых ПП.

На каждой ПП были проводили исследования состояния воздушной среды, подвергающейся воздействию комплекса загрязнителей. С помощью мониторов качества атмосферного воздуха (Air Master 2 AM7; Wintact WT8811; DM126-NH3) определялась общая концентрация летучих органических соединений, диоксида серы, аммиака, содержание углекислого газа и кислорода.

При исследовании древостоев (сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, березы повислой) фиксировались основные их лесотаксационные характеристики (тип леса, состав древостоя, полнота древостоя, сомкнутость крон), проводились геоботанические описания, определялся уровень деструкции лесной подстилки. На всех ПП с 5–6 деревьев отбирались пробы хвои сосны и лиственницы, листьев березы. В лабораторных условиях проводилось определение содержания в ассимиляционных органах элементов-биогенов и накопление элементов-поллютантов [5; 6].

Для отбора образцов серых лесных почв на каждой ПП закладывали разрезы до глубины подстилающей породы. Название типа почв и индексов горизонтов устанавливалось в соответствии с единым государственным реестром почвенных ресурсов России [7]. Почвенный профиль представлен совокупностью горизонтов: А0 – А1 – А2 – А2В – В1 – В2 – ВС – С, в нем выделяются зоны органической (лесная подстилка), гумусовой и элювиально-иллювиальной аккумуляции веществ. Показатели почв, свидетельствующие о детоксицирующей способности, определялись по комплексу кислотно-основных, катионообменных, гумификационных свойств почв [8]. Активность миграции поллютантов и элементов-биогенов в системе почвенного профиля оценивали с помощью лизиметров (AQUAMETER ECO, модель E), которые помещались на разную глубину (рис. 1).



Рис. 1. Вид расположения лизиметров в глубине почвенного профиля /
Figure 1. View of the location of lysimeters in the depth of the soil profile

Элементный химический состав растений и почв определялся методами пламенной фотометрии, атомно-абсорбционной спектрофотометрии, фотоколориметрирования с использованием приборного парка Байкальского аналитического центра (ЦКП) ИНЦ СО РАН по сертифицированным методикам, в частности AAS Vario 6 (Analytik Jena AG, Германия), спектрофотометр Spectrum One FT-IR, (PerkinElmer Life and Analytical Sciences, США), Agilent 6890/5973 GC/MSD System (Agilent Technologies, США). Полученный массив данных подвергался статистическому и корреляционному анализу («Среда статистических вычислений R» и ее использование в Data Mining).

Результаты исследования и их обсуждение

При натурном обследовании установлено, что наибольшее распространение в городских лесах Приангарья имеют сосняки разнотравные с примесью березы, а также березняки разнотравные и папоротниковые. Дрестовой

сосны чаще всего одноярусные, средневозрастные (50–70 лет), средние по высоте (16–25 м), не густые (полнота 0,3–0,4). В комлевой части стволов деревьев представлены единичные группировки лишайников и мхов. Подрост образован мелколиственными породами. Кустарниковый ярус редкий, его образуют *Crataegus sanguinea* Pallas, *Rhododendron dauricum* L., *Rosa acicularis* Lindley, *Sambucus* sp. Обнаружено, что в городских лесах часто встречаются ослабленные деревья со всевозможными механическими повреждениями, которые способствуют увеличению распространения фитопатогенов. Натурные обследования показали, что у деревьев березы листья поражаются возбудителями *Gloeosporium betulae*, *Microsphaera betulae*, а на деревьях сосны часто наблюдается пожелтение хвои, вызванное различными видами микромицетов (например, *Lophodermium pinastri*). В травостое видами-доминантами являются *Carex* sp., *Poa pratensis*, *Trifolium pretense*, *Ranunculus sceleratus*, *Polygonum aviculare*, *Achillea millefolium*, *Plantago depressa*, *Carum carvi*, *Phleum pretense*.

Отличительной особенностью городских лесов является сохранение естественных почв, антропогенные нарушения в которых затрагивают только верхние гумусовые горизонты до глубины 10 см. При этом на всех ПП для почвенных разрезов характерны общие генетические особенности. Так, верхний гумусово-элювиальный горизонт А2 светло-серого цвета, комковато-зернистой структуры, плотноватый с обильным включением корней растений и постепенной границей перехода по окраске и плотности в нижележащий горизонт. Под гумусовым слоем в профиле присутствует переходный горизонт А2В серого цвета, комковатой структуры со специфичной по минералогическому составу белесо-палевой присыпкой. Далее располагается среднесуглинистый текстурный горизонт В2 ржаво-бурого цвета, что свидетельствует о наличии элювиально-иллювиального процесса, нижние почвообразующие горизонты ВС и С более светлой окраски, слабо структурированные, на глубине их залегания обнаруживаются карбонаты.

Способность почвы выполнять экосистемную функцию в первую очередь связана с процессами перераспределения биогеохимических потоков элементов и их соединений в экосистеме. При этом универсальными критериями экологической оценки природной среды, отвечающими за миграцию веществ, служат кислотно-щелочные условия среды и емкость почвенно-поглощающего комплекса (ППК) [9]. В частности, эти показатели играют важнейшую роль в поглощении атмосферных загрязнителей, регулировании их потока в почвенном профиле и формировании устойчивости к антропогенному воздействию экосистемы в целом. В городских лесах Приангарья изучались изменения уровня кислотно-щелочного баланса среды параллельно в нескольких компонентах лесной экосистемы: травяном покрове (надземная и подземная биомасса), лесной подстилке, горизонтах почвенного профиля, ассимиляционных органах деревьев: хвое сосны, лиственницы, листьях березы. Показано, что в городских лесах, подверженных высокой рекреационной

нагрузке и загрязнению атмосферного воздуха, обнаруживается сдвиг реакции среды почвенных растворов и гомогенатов растений в сторону щелочных значений. Ранее нами также было зарегистрировано увеличение щелочности почв и лесной подстилки на урбанизированных территориях [10]. Так, в городских лесах увеличение актуальной кислотности органической подстилки может достигать значений $pH_{(водн)}$ 8,25 при фоновых значениях $pH_{(водн)}$ 5,70, для гумусовых горизонтов $pH_{(водн)}$ изменяется от 5,20 до 8,10, для гомогенатов хвои и листьев деревьев – от 4,10 до 5,50. Такие результаты могут свидетельствовать о поступлении щелочных аэровыбросов на поверхность почвы, травяной покров и в кроновое пространство деревьев, а также о негативном воздействии их химического состава на биогеохимические процессы. Установленные корреляционные связи ($r = 0,85–0,98$, $n = 78$) между показателями актуальной кислотности почвенных растворов и гомогенатов лесной подстилки, травяного покрова, хвои (листьев) деревьев свидетельствуют о взаимосвязанном нарушении кислотно-щелочного баланса под действием урбозкислоты.

Нарушение кислотно-щелочных условий в почвах приводит к изменению содержания обменных катионов (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) в ППК. Изучение подвижных форм элементов-биогенов в ППК свидетельствует об изменении их соотношений [$K^+ : Na^+ : Ca^{2+} : Mg^{2+}$] и увеличении общей суммы – $\Sigma[K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}]$ в сравнении с фоном. При этом содержание органического вещества в почвах городских лесов не является определяющим фактором ($r \leq 0,35$) катионообменной активности почв, как это установлено для фоновых территорий. В городских условиях одним из определяющих факторов загрязнения почв выступает увеличение доли щелочных катионов. Так, исследования показали, что в городских лесах с высокой рекреационной нагрузкой дисбаланс в составе ППК определяется значительным увеличением обменного натрия, содержание которого может достигать более $6 \text{ мг/кг} \times 10^2$. При этом в составе обменных катионов происходит химическое замещение кальция и магния на натрий в обменно-поглощенном состоянии. Увеличение обменного натрия в почвенном растворе приводит к выраженным морфологическим изменениям в профиле серых лесных почв. На поверхности почв под лесной подстилкой наблюдается образование плотного белесо-серого слоя, а в нижележащих горизонтах отмечаются солевые потеки и линзы.

Проведенные исследования показали, что в условиях минерализации гумуса наблюдается активная миграция лабильных гумусовых кислот вниз по профилю, выщелачивание органического вещества и усиление соленакопления при протекании элювиального почвообразовательного процесса. Установлено, что в почвах городских лесов наблюдается значительное увеличение содержания кальция и серы, которые образуют в почвах гипс и изменяют морфологический облик почвенных разрезов. Этот факт свидетельствует о том, что поступающие с техногенными выбросами на поверхность почвы сульфаты вступают в активное химическое взаимодействие с обменными ионами

кальция, входящими в ППК. При этом наибольшая сорбционная способность кальция и серы наблюдается в условиях подщелачивания почвенного раствора. Для фоновых почв достоверная сопряженность связи между содержанием подвижной серы и обменных катионов не выявлена.

Полученные результаты установили, что изменение состава обменных катионов ППК и нарушение кислотно-щелочного баланса определяют накопление и миграцию тяжелых металлов (ТМ) и элементов-токсикантов (серы, хлора, фтора) в почвах. На городских территориях Приангарья в серых лесных почвах обнаружено активное перемещение и накопление подвижных форм загрязняющих элементов во всех генетических горизонтах: А0 – А1 – А2 – А2В – В1 – В2 – ВС – С (рис. 2).

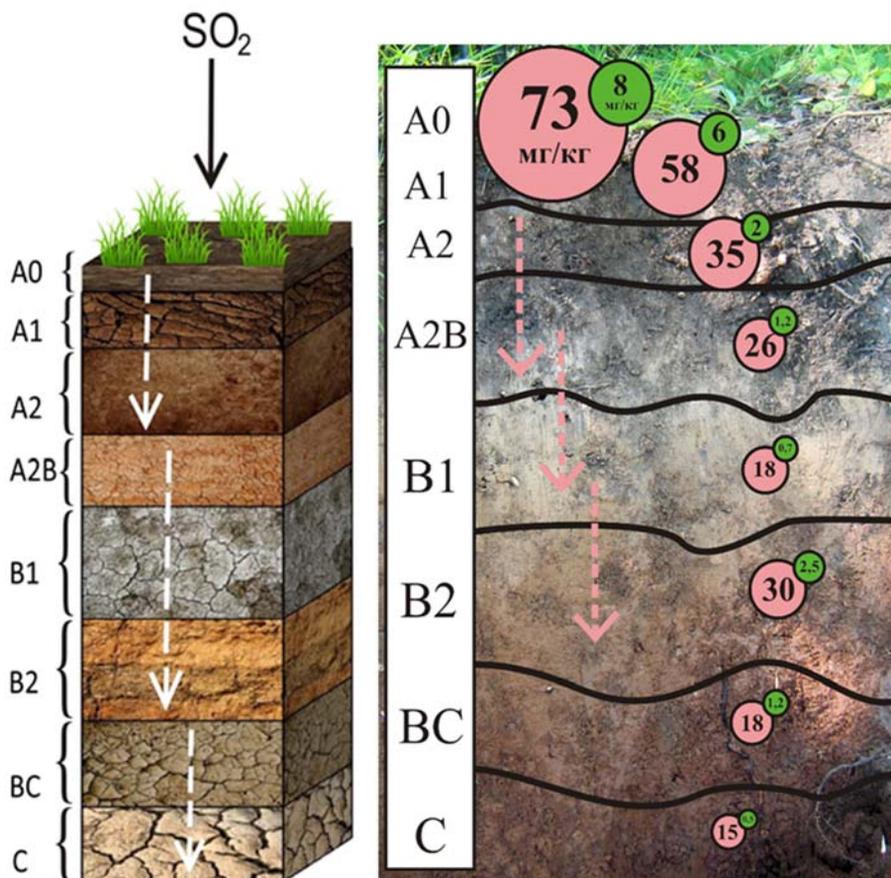


Рис. 2. Миграция сульфатов в профиле серых лесных почв (розовыми кружками показана концентрация серы в городских почвах, зелеными – в фоновых почвах) / Figure 2. Sulfate migration in the profile of gray forest soils (pink circles show sulfur concentration in urban soils, green circles – in background soils)

Полученные результаты свидетельствуют, что уровень загрязнения городских почв ТМ определяется двумя основными педохимическими процессами – аккумуляцией в гумусовых горизонтах и вертикальной миграцией по

почвенному профилю. Обнаружено, что содержание ТМ в лесной подстилке и гумусовых горизонтах почв Иркутска может максимально превышать фоновые значения свинца – до 34 раз, меди – до 23, цинка – до 18, кадмия – до 14 раз. В лесных почвах городов Ангарска и Усоля-Сибирского превышения фоновых концентраций примерно одинаковы и составляют для вышеперечисленных ТМ 28, 17, 14 и 8 раз соответственно. На примере проведенных лизиметрических исследований миграции свинца и кадмия в почвенной толще серых лесных почв Усоля-Сибирского показано их высокое накопление в гумусово-аккумулятивных горизонтах и интенсивное иллювиальное перераспределение с глубиной. Так, в верхних горизонтах А1, А2, А2В городских лесов на окраине города содержание свинца и кадмия превышает фоновый уровень в 7–10 раз. В нижележащем иллювиальном горизонте В1 почвенного профиля концентрация элементов уже снижается до 4–6 раз относительно накопления в верхних гумусовых горизонтах, а в текстурном горизонте В2 концентрация ТМ снова возрастает в сравнении с вышележащим органо-минеральным А2В и минеральным В1 горизонтами. Этот процесс объясняется фиксацией ионов ТМ иллювиальными коллоидами нижних горизонтов почв. Специфика аккумулятивной способности генетических горизонтов почвенного профиля характерна также и для других аэротехногенных поллютантов городской среды. Так, на территории Иркутска промывной тип почвенного режима и фиксация химических элементов гумусом и минеральными коллоидами обуславливают направленность миграционных потоков сульфатов и фторидов в почвенном профиле.

Исследования показывают, что из загрязненных почв подвижные формы элементов-токсикантов способны активно поступать в корневые системы растений. Наряду с фолиарным загрязнением древесных растений немаловажную роль в городских лесах играет почвенное поглощение элементов-загрязнителей. Учитывая полученные результаты, свидетельствующие о высокой миграционной активности токсикантов в системе почвенного профиля серых лесных почв, можно говорить о наличии значительного их поступления в ассимиляционные органы растений из всех горизонтов загрязненных почв. Так, на примере данных о содержании в хвое сосны и горизонтах почвенного профиля приоритетных токсикантов – серы и хлора было установлено, что это связи высокого уровня значимости ($r = 0,79–0,88$, $P = 0,05$, $n = 64$).

Исследованиями установлено, что суммарная аккумуляция токсикантов (сумма фолиарного и почвенного поступления) в ассимиляционных органах деревьев городских лесов Иркутска в хвое сосны и лиственницы и листьях березы превышает фоновые значения серы в 1,5–3 раза, фтора – в 3–6 раз, хлора – в 2–7 раз, свинца – в 8–20 раз, кадмия – в 5–8 раз, ртути – в 1,5–4 раза, меди – в 3–8 раз, цинка – в 2–7 раз, железа – в 2–8 раз. В Ангарске содержание элементов-поллютантов в хвое и листьях деревьев также высокое. В городских лесах содержание серы превышает фоновые концентрации в 2–3 раза,

свинца – в 7–15 раз, кадмия – в 4–7 раз, ртути – в 1,5–2 раза, меди – в 2–7 раз, цинка – в 2–6 раз, железа – в 2–5 раз, мышьяка – в 1,5–3 раза. В Усолье-Сибирском загрязнение древесных растений обусловлено близостью техногенной зоны и нарушением почвенного покрова на больших площадях, прилегающих к городским лесам. В хвое сосны, лиственницы и листьях березы содержание серы превышает фоновое в 1,3–2,5 раза, хлора – в 2–9 раз, свинца – в 4–12 раз, кадмия – в 3–7 раз, ртути – в 1,5–9 раз, меди – в 2–5 раз.

Изучение перераспределения потоков аэротехногенных поллютантов в городских лесах позволило выявить степень проявления важнейшей экосистемной функции почвенного покрова – способности к аккумуляции и детоксикации техногенных поллютантов и древесных растений – способности очищения атмосферного воздуха путем аккумуляции токсикантов в хвое и листьях. Установлено, что наименьший уровень загрязнения городских лесов отмечается на окраине городов, не подпадающих под перенос промышленных эмиссий и выбросов автотранспорта. Повышенный уровень загрязнения почв и растений обнаружен для большинства лесов в городской черте. При сильном уровне загрязнения городских лесов экосистемная функция почв заключается в иммобилизации токсичных ионов почвенного раствора в составе труднорастворимых комплексных соединений в условиях щелочной реакции среды, что существенно уменьшает их доступность для растений. Необходимо отметить, что накопление поллютантов в ассимиляционных органах растений подтверждают также данные о загрязнении атмосферного воздуха в городах, согласно которым значения ПДК загрязняющих веществ значительно превышены.

Заключение

Проведена оценка экосистемных функций городских лесов Приангарья по комплексу морфоструктурных, физико-химических и токсикологических показателей почв и древесных растений. Установлено, что выбранные показатели отличаются высоким уровнем взаимных корреляций, что отражает их индикационный характер в условиях негативного антропогенного воздействия (аэротехногенное загрязнение и рекреационная нагрузка) на растения и почвы городских территорий. Показано, что наиболее информативными являются параметры лесной подстилки, верхних почвенных горизонтов, ассимиляционных органов древесных растений. Исследованные биогеохимические процессы – изменение кислотно-щелочных условий в лесной экосистеме, нарушение соотношений биогенных элементов в почвах и растениях, миграция и аккумуляция элементов-поллютантов в почвенном профиле, хвое и листьях древесных растений – характеризуются взаимообусловленными изменениями в фито- и педоценозе. Установлено, что в городских лесах в условиях высокого уровня рекреационной нагрузки большую информативность приобретают морфоструктурные показатели верхних горизонтов почв. Для этих территорий выявлены повышенный уровень деструкции органического

вещества, снижение минерализации элементов питания растений. При высоком воздействии атмосферного загрязнения обнаружены интенсивная аккумуляция и миграция поллютантов в почвенных горизонтах, нарушение соотношений калия, натрия, кальция, магния в ППК и ассимиляционных органах растений. В целом полученные результаты дают информацию о проявлении экосистемных функций почвы и древесных растений, рассматриваемых как основные средообразующие и средозащитные компоненты городской среды.

Список литературы

- [1] Беднова О.В. Технология нормирования и индикации состояния лесных экосистем в условиях городских особо охраняемых территорий // Лесной вестник. 2014. Т. 16, № 6. С. 36–52.
- [2] Пузаченко Ю.Г. Общие основания концепции устойчивого развития и экосистемных услуг // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 3. С. 22–39.
- [3] Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 2019. 307 с.
- [4] Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В. Динамика состояния сосновых лесов Предбайкалья в условиях воздействия антропогенных факторов // Сибирский лесной журнал. 2017. № 1. С. 44–55. <http://doi.org/10.15372/SJFS20170105>
- [5] Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
- [6] Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981. 108 с.
- [7] Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. 768 с.
- [8] Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
- [9] Орлов Д.С. Химия и охрана почв // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 3. С. 65–74.
- [10] Шергина О.В., Михайлова Т.А., Миронова А.С. Оценка регулирующих и поддерживающих экосистемных услуг городских лесов по биогеохимическим показателям почв и древесных растений // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием (Москва, 27–30 октября 2020 г.). М.: ЦЭПЛ РАН, 2020. С. 140–145.

References

- [1] Bednova OV. The technology of rationing and indication of the state of forest ecosystems in urban specially protected areas. *Flattery Newsletter*. 2014;16(6):36–52. (In Russ.)
- [2] Puzachenko YG. General foundations of the concept of sustainable development and ecosystem services. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic Series*. 2012;(3):22–39. (In Russ.)
- [3] *State report «On the condition and protection of the environment of the Irkutsk region in 2018»*. Irkutsk: ООО «Megaprint»; 2019. (In Russ.)
- [4] Mikhailova TA, Kalugina OV, Shergina OV. Dynamics of the state of pine forests of Predbaikalye under the influence of anthropogenic factors. *Siberian Forest Journal*. 2017;(1):44–55. (In Russ.) <http://doi.org/10.15372/SJFS20170105>
- [5] *Methods of biochemical study of plants*. Leningrad: Agropromizdat Publ.; 1987. (In Russ.)

- [6] *Methodical recommendations for field and laboratory studies of soils and plants in the control of environmental pollution by metals*. Moscow: Gidrometeoizdat Publ.; 1981. (In Russ.)
- [7] *Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0*. Moscow: Soil Institute. VV. Dokuchaev Rosselkhoz academy; 2014. (In Russ.)
- [8] Vorobyeva LA. Chemical analysis of soils. Moscow: Moscow State University Press Publ.; 1998. (In Russ.)
- [9] Orlov DS. Chemistry and protection of soils. *Soros Educational Journal*. 1996;(3):65–74. (In Russ.)
- [10] Shergina OV, Mikhailova TA, Mironova AS. Assessment of regulating and supporting ecosystem services of urban forests by biogeochemical indicators of soils and trees. *Scientific basis of sustainable forest management: Proceedings of the IV All-Russian Scientific Conference with international participation (Moscow, October 27-30, 2020)*. Moscow: CEPF RAS; 2020. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Шергина Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Российская Федерация, 664017, Иркутск, ул. Лермонтова, 132/1. ORCID: 0000-0002-6333-8821, eLIBRARY SPIN-код: 8646-5549. E-mail: sherolga80@mail.ru

Миронова Анастасия Сергеевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Российская Федерация, 664017, Иркутск, ул. Лермонтова, 132/1. eLIBRARY SPIN-код: 1575-4552. E-mail: nkaverzina1986@rambler.ru

Тупицына Юлия Сергеевна, магистрант, Педагогический институт Иркутского государственного университета, Российская Федерация, 664011, Иркутск, улица Нижняя Набережная, 6. ORCID: 0000-0001-7744-9488. E-mail: yulya56138@mail.ru

Bio notes:

Olga V. Shergina, PhD of Biological Science, Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, 132/1 Lermontov St, Irkutsk, 664017, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6333-8821, eLIBRARY SPIN: 8646-5549. E-mail: sherolga80@mail.ru

Anastasiya S. Mironova, PhD of Biological Science, Junior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, 132/1 Lermontov St, Irkutsk, 664017, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код: 1575-4552. E-mail: nkaverzina1986@rambler.ru

Yulia S. Tupitsyna, Graduate student, Pedagogical Institute of Irkutsk State University, 6 Nizhnyaya Embankment St, Irkutsk, 664011, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7744-9488. E-mail: yulya56138@mail.ru