

Читать
онлайн
Read
online

Медведева М.В., Новиков С.Г.

Эколого-микробиологический мониторинг почв в местах массового отдыха

Институт леса – обособленное подразделение ФГБУН «Карельский научный центр Российской академии наук», 185910, Петрозаводск, Россия

Введение. Представлены результаты комплексной эколого-микробиологической оценки почв центральной части рекреационной зоны города Петрозаводска, расположенного в среднетаёжной подзоне Карелии. Исследование санитарно-гигиенических показателей качества почв парковой зоны города в пространственно-временном аспекте имеет большое значение для анализа современного состояния почв и тренда их развития в условиях антропогенного воздействия, а также является основой при проведении урбоэкологического мониторинга для создания комфортной окружающей среды.

Цель исследования – проведение эколого-микробиологического мониторинга почв в местах массового отдыха городского населения Петрозаводска. **Материалы и методы.** Объектом исследования являлись почвы рекреационной зоны центральной части Петрозаводска (Карелия). Проведена оценка кислотно-щелочных свойств, содержания тяжёлых металлов, а также состояния микробиотической компоненты почв. На основе комплексного показателя суммарного загрязнения тяжёлыми металлами (Zc) установлена категория загрязнения почв.

Результаты. На основе данных комплексного изучения оценено современное (на 2021 г.) состояние почв рекреационной зоны центральной части Петрозаводска. Проведённый сравнительный анализ изменения химических и микробиологических свойств, а также данных по содержанию тяжёлых металлов в почве в пространственно-временном интервале показал снижение антропогенного воздействия на почвы, улучшение качества природной среды для населения по сравнению с 2002 г. Установленное изменение уровня загрязнения почв является основой для проведения дальнейших природоохранных мероприятий на территории города.

Ограничения исследования. Работа в области урбоэкологических исследований осложнена отсутствием локальных регламентирующих документов, обосновывающих гигиенические нормативы химических веществ, которые загрязняют почву; ограниченностью точек для мониторинга и работой со смешанными образцами почв, что создаёт проблему репрезентативности полученных данных.

Заключение. Условия формирования почв парковой зоны (санитирование и озеленение территории, уборка мусора, внесение торфосмесей и пр.) города являются благоприятными, что отражается на их свойствах, которые в целом соответствуют предъявляемым к ним гигиеническим требованиям. Установленные значения комплексного показателя суммарного загрязнения почв на отдельных участках свидетельствуют о высокой антропогенной нагрузке в прошлом и являются основанием для продолжения исследований, о необходимости периодических мониторинговых работ, а также о расширении спектра используемых индикаторов почв для ранней диагностики их деградации.

Ключевые слова: комфортная окружающая среда; урбанизация; городские почвы; рекреационная зона; категория загрязнения почв; микробиоценоз почв

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Медведева М.В., Новиков С.Г. Эколого-микробиологический мониторинг почв в местах массового отдыха. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(11): 1163–1169. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1163-1169> <https://elibrary.ru/sctlmx>

Для корреспонденции: Медведева Мария Владимировна, зав. лаб. ФГБУН Институт леса Карельского научного центра РАН, 185910, Петрозаводск. E-mail: mariamed@mail.ru

Участие авторов: Медведева М.В. – концепция, сбор и обработка данных, написание текста; Новиков С.Г. – сбор и обработка данных, дизайн исследования, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

Поступила: 19.09.2023 / Принята к печати: 15.11.2023 / Опубликовано: 08.12.2023

Maria V. Medvedeva, Sergey G. Novikov

Ecological and microbiological monitoring of soils in places of mass recreation

Institute of Forest of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation

Introduction. There are presented results of a comprehensive ecological and microbiological assessment of soils located in the central part of the recreational zone of the city of Petrozavodsk, located in the middle taiga area. The study of chemical and microbiological properties of the soils of the park zone in the spatio-temporal aspect is of great importance for assessing the current state of soils and the trend of their development in conditions of anthropogenic impact, and can be the basis for urban ecological monitoring also.

The aim of the study is ecological and microbiological monitoring of soils in places of mass recreation of the urban population (Petrozavodsk).

Materials and methods. The object of the study was the soils of the plots located in the central part of the city. The soils located on the territory of the Kivach Nature Reserve were selected as a control. The acid-base properties of soils, the content of heavy metals, as well as the state of the microbiotic component of soils were evaluated. Based on the data on the content of heavy metals, the degree of soil contamination with heavy metals was determined.

Results. Based on the data of a comprehensive study, the current state of the soils of the recreational zone of Petrozavodsk has been established. The comparative analysis of changes in chemical and microbiological properties, as well as data on the soil pollution coefficient in the space-time interval revealed a decrease in anthropogenic impact on soils. Changing the category of soil pollution is an important tool of environmental protection measures carried out on the territory of the city.

Limitations. Work in the field of urban-ecological research is complicated by the lack of local regulatory documents that substantiate the hygienic standards for chemicals polluting the soil; limited monitoring points and work with mixed soil samples, which creates a problem of representativeness of the obtained data.

Conclusion. *The favourable conditions for the formation of soils in the park zone affect on their soil properties, which generally meet the hygienic requirements imposed on them. The established higher indicators of the soil pollution coefficient in certain areas indicate a high anthropogenic pressure in the past, are the basis for continuing research, the need for periodic work, as well as expanding the range of soil indicators used for early diagnosis of their degradation.*

Keywords: *urbanization; urban soils; recreational zone; category of soil pollution; soil microbiocenosis*

Compliance with ethical standards. *The study does not require submission of the opinion of the biomedical ethics committee or other documents.*

For citation: Medvedeva M.V., Novikov S.G. Ecological and microbiological monitoring of soils in places of mass recreation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(11): 1163–1169. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1163-1169> <https://elibrary.ru/sctlmx> (in Russian)

For correspondence: *Maria V. Medvedeva*, Head of Laboratories of the Institute of Forest of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation. E-mail: mariamed@mail.ru

Information about authors:

Medvedeva M.V., <https://orcid.org/0000-0002-2543-3123> Novikov S.G., <https://orcid.org/0000-0003-2387-2656>

Contribution: *Medvedeva M.V.* – concept, data collection and processing, text writing; *Novikov S.G.* – data collection and processing, research design, editing. *All authors* are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

Acknowledgement. The financial support of the research was carried out from the federal budget for the fulfillment of the state task of the KarSC RAS (KarSC RAS Forest Institute).

Received: September 19, 2023 / Accepted: November 15, 2023 / Published: December 8, 2023

Введение

В настоящее время одним из негативных видов антропогенного воздействия на природу является урбанизация. Хозяйственная деятельность человека приводит к изменению различных компонентов природных экосистем: происходит увеличение радиационного фона, температуры воздуха, изменение гидротермического режима, разнообразия биотической компоненты, состава растений напочвенного покрова и т. д. [1]. В почвах города возможно развитие сапрофитных микроорганизмов, что приводит к снижению её самоочищающей способности, изменению экологических условий проживания людей. В городе при трансформации естественной среды и формировании лесопарковой зоны происходит сокращение площади ненарушенных территорий, и условия для формирования экосистемы изменяются [2]. В связи с этим при решении вопроса об оптимизации среды обитания человека необходим комплексный анализ состояния урбоэкосистемы. Последовательное выполнение различных звеньев работы (выявление зоны изменения природной среды с сопоставлением уровня техногенного воздействия, установление флуктуаций показателей качества среды, выбор индикаторов, составление плана природоохранных мероприятий, снижающих антропогенное воздействие) позволяет получить исчерпывающую информацию о состоянии почв рекреационной зоны города.

Городская территория состоит из участков различных категорий землепользования, которые представляют собой единую целостную систему, отдельные звенья которой взаимосвязаны. Почвенная компонента является базовой составляющей, поскольку обеспечивает продуктивность урбосистемы, её функционирование, устойчивость и биоразнообразие [3]. Таким образом, почва является важным условием благоприятного экологического и санитарного состояния городов. Почва как часть геотехсистемы испытывает комбинированное урботехногенное воздействие.

Несмотря на то что за последние годы накоплено много информации о педосфере, которая сформирована в условиях урбанизации, общетеоретические основы их изучения разработаны не до конца, отсутствует информация о классификации городских почв, особенностях их генезиса и свойствах, а также о круговороте элементов биофилов в условиях урботехногенного пресса [4]. В этой связи нет общих стандартов охраны почв урбоэкосистем. Особенно это касается почв северных широт, которые развиваются в условиях недостатка поступления солнечной энергии. Последнее является причиной невысокой биологической активности почв, их низкой самоочищающей способности. Почвы в этих условиях становятся вторичным источником загрязнения приземного слоя воздуха, грунтовых вод, а также причиной изменения

эколого-эпидемиологической ситуации, неблагоприятной для человека [5]. Одними из наиболее опасных загрязнителей являются тяжёлые металлы, которые, накапливаясь в тканях живых организмов, проявляют свои токсические свойства.

Микроорганизмы быстро реагируют на изменение почвенно-химической обстановки, поэтому могут служить экспресс-методом при оценке состояния почв урбоэкосистем [6]. Способность микробиоты адаптироваться к новым эдафическим условиям путём изменения состава и структуры даёт возможность ей быть главным средообразующим агентом, выполнять свои экосистемные функции.

Цель работы – проведение эколого-микробиологического мониторинга почв в местах массового отдыха городского населения города Петрозаводска.

Материалы и методы

Изучены химические и микробиологические свойства почв рекреационной зоны города Петрозаводска, расположенного в среднетаёжной подзоне Карелии. Территория парка «Ямка» (ранее парк Онежского тракторного завода), где проводили исследование, представляет собой естественное понижение рельефа в центральной части города. Её экологическими особенностями являются: 1) расположение на одной из террас реки Лососинка; 2) вытянутость вдоль реки; 3) высокий уровень антропогенного воздействия [7]. Данный парк организован в середине XX века в качестве озеленённой санитарно-защитной зелёной зоны Онежского тракторного завода (рис. 1), который до 2008 г. функционировал на противоположном берегу реки. В конце XVIII века на данной территории располагался Александровский пушечно-литейный завод, который использовал территорию парка для складирования отработанных материалов (шлаков) [8]. Первый тур обследования произведён в 2007 г. Аэрополлотанты, которые поступали от труб сталелитейного цеха, являлись постоянным источником тяжёлых металлов, серы. В этой связи на разном расстоянии от источника эмиссии поллютантов были заложены учётные площадки (I – 30 м, II – 50 м, III – 70, IV – 100 м), отобраны образцы для химических и микробиологических анализов, определены индикаторы состояния почв. Однако в 2013–2015 гг. был выполнен демонтаж цеха, территория завода стала частью инфраструктуры города и была вовлечена в новую хозяйственную деятельность. В эти годы произошло снижение антропогенного воздействия на эдафо-фитоценоотический комплекс, оздоровление территории. Как известно, мониторинг почв предполагает периодичность исследования их свойств, в этой связи провели второй тур обследования территории в 2021 г.

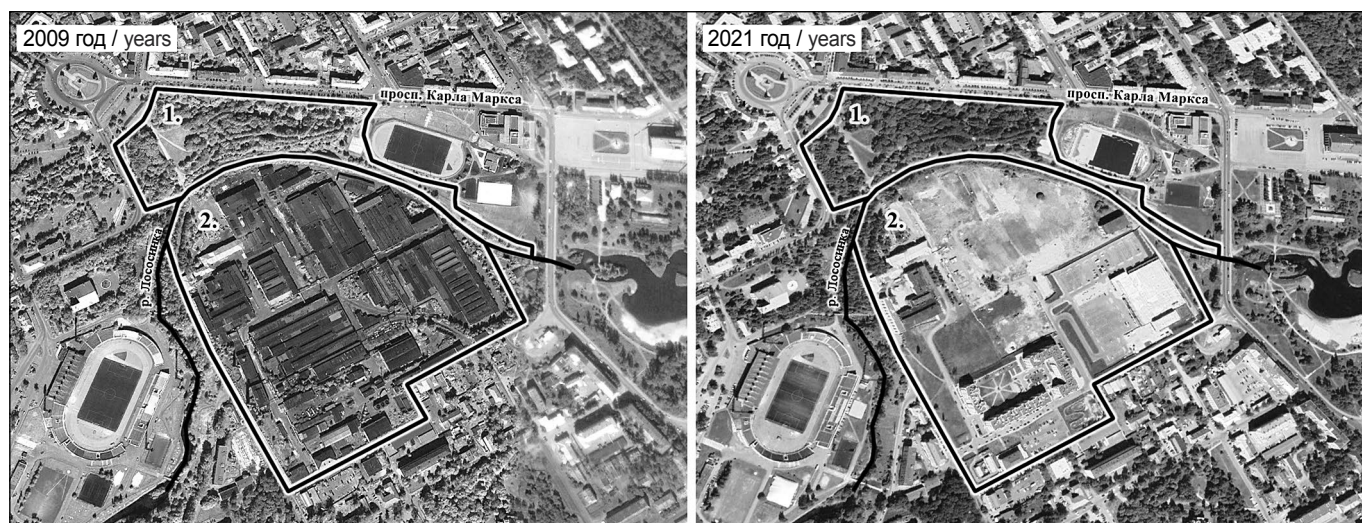


Рис. 1. Схема расположения территории парка «Ямка» (1) и первой площадки Онежского тракторного завода (2) на разных этапах обследования (картографические данные © Maxar Technologies, Google Earth).

Fig. 1. Scheme of the location of the territory of the Yamka park (1) and the first site of the Omega Tractor Plant (2) at different stages of the survey (map data © Maxar Technologies, Google Earth).

Пробные площадки для исследования закладывали согласно руководству МУ 2.1.7.730–99¹, которое предполагает, что на данной территории совпадают тип почв, растения напочвенного покрова, гидротермические условия, природно-климатическая микрizona.

На территории обследуемого парка был заложен почвенный разрез, таксономическая принадлежность почв устанавливалась в соответствии с классификацией, разработанной при участии коллектива авторов из разных регионов России [9]. Почва на исследуемой территории представляет собой систему насыпных грунтов, по всему профилю отмечено большое количество антропогенных включений, представленных битым кирпичом, шлаком. Почва – урбостратозём мощный техногенный химически загрязнённый (Spolic Urbic Technosol (Toxic, Transportic), имеет следующее морфологическое строение: URau,x (0–2 см) – ТСН1х (2–8 см) – ТСН2х (8–22 см) – ТСН3 (22–48 см) – ТСН4 (48–64 см) – ТСН5 (ниже 64 см) [10].

На каждом участке закладывали прикопки, из которых отбирали образцы почв (0–5, 5–10 см) для определения их физико-химических и микробиологических свойств одновременно, что позволило исключить влияние экологических факторов. Отбор проб, хранение, транспортировку и подготовку к анализу осуществляли в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–2017². В почвенных образцах определяли валовое содержание тяжёлых металлов (Pb, Cu, Zn, Ni) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с предварительным автоклавным разложением в смеси концентрированных кислот (HNO₃, HCl, HF) в Центре коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук». Кислотно-щелочные показатели (рН вод) определяли потенциометрически на рН-метре Hanna (Германия). Численность бактерий, утилизирующих органическое соединение азота, учитывали на мясо-пептонном агаре (МПА), определяли в свежих почвенных образцах методом высева почвенной суспензии на селективные пи-

тательные среды по принятой в почвенной микробиологии методике [11]. При проведении работ в природоохранной области рекомендуют делать пересчёт микроорганизмов на объёмный вес почв (г/см³). Численность микроорганизмов выражали в КОЕ тыс./г почвы. Целлюлозолитическую активность почв определяли согласно [11]. Время экспозиции ткани составляло 4 мес.

Оценку уровня содержания тяжёлых металлов в почвах проводили методом сравнения полученных данных с существующими гигиеническими нормативами по содержанию химических веществ в песчаных и супесчаных почвах – СанПиН 1.2.3685–21³, согласно которому значения ОДК (ориентировочно допустимые концентрации) составляли для Ni – 20, Cu – 33, Zn – 55, Pb – 32 мг/кг. Для контроля содержания тяжёлых металлов в почве рассчитывали комплексный показатель суммарного загрязнения Zс, рекомендованный ГОСТ 17.4.3.06–2020, с учётом коэффициентов токсичности элементов [12].

Результаты

При проведении мониторинговых исследований почв города важным показателем является кислотность, которая определяет их самоочищающую способность и буферные свойства. Результаты показали, что кислотность почв парка изменяется от слабокислой (5,85) до нейтральной и близкой к нейтральной (7,02) (рис. 2). Выявили тенденцию увеличения значения рН почв изучаемой парковой зоны.

Анализ содержания тяжёлых металлов в почвах, сформировавшихся на территории исследуемой рекреационной зоны, показал снижение концентраций цинка, никеля, меди и свинца (рис. 3). При проведении первого тура исследования в 2002 г. определили значительные превышения ОДК тяжёлых металлов первого (Pb, Zn) и второго (Cu) класса опасности. Максимальные концентрации были определены в почвенных образцах, отобранных на расстоянии 50 м от промышленной площадки завода (площадка II): Pb – 132 ОДК, Zn – 26 ОДК, Cu – 8 ОДК. Содержание никеля на обследуемой территории находилось в пределах 1–2 ОДК. Важно отметить, что аккумуляция поллютантов происходит в ниже-

¹ МУ 2.1.7.730–99. 2.1.7. Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест. Методические указания (утв. Минздравом России 07.02.1999 г.).

² ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

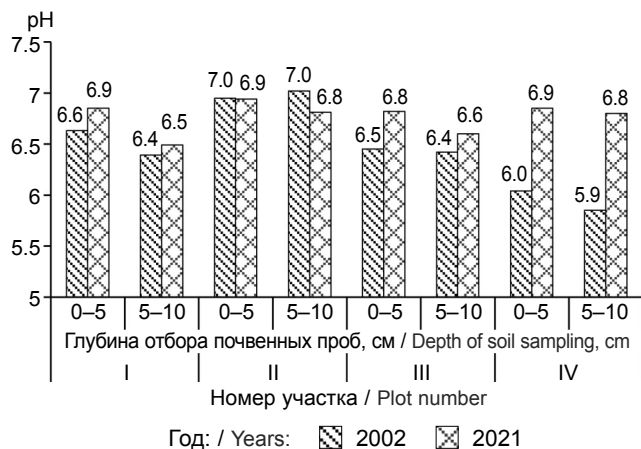


Рис. 2. Динамика кислотно-щелочных свойств почв исследуемой территории.

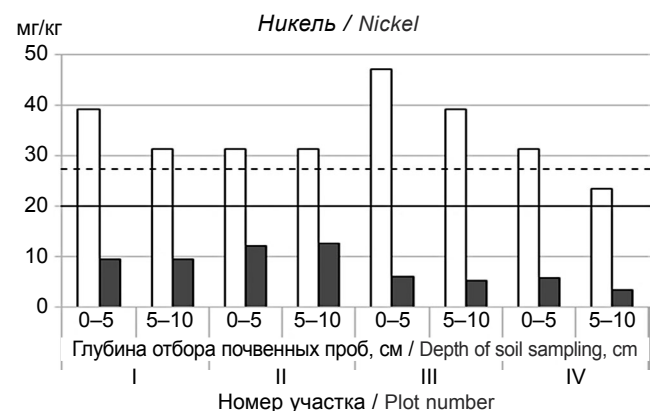
Fig. 2. Trend in acid-alkaline properties of soils in the study area.

лежащем слое (5–10 см), где их содержание в разы превышает фоновые региональные значения. Это косвенно указывает на антропогенное происхождение почв и снижение интенсивности аэротехногенного поступления загрязнителей. Повторно проведенные в 2021 г. исследования показали значительное снижение концентраций тяжёлых металлов в обследуемых

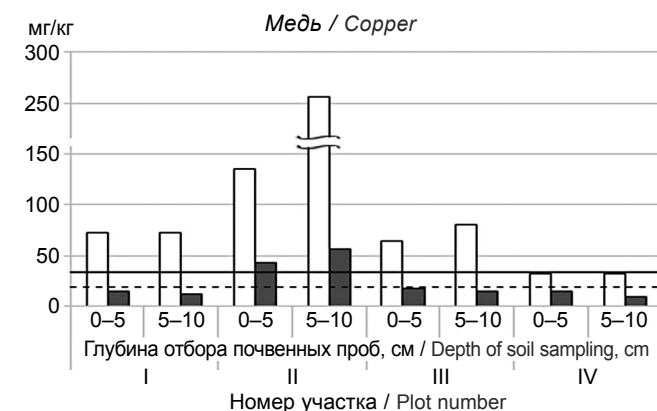
почвах. Так, на самой загрязнённой пробной площадке (II) концентрация свинца в почве составила 1–2 ОДК, цинка – до 6 ОДК, меди – не превысила уровня 2 ОДК, а никеля – в пределах норматива (до 20 мг/кг). Изменение содержания тяжёлых металлов в почвах парка связано со снижением негативного антропогенного воздействия на природную среду за последние годы – в период с 2008 по 2010 г. первая площадка ОТЗ, как отмечено выше, прекратила свою работу.

Исследование численности бактерий, утилизирующих органические формы азота, показало возрастание их численности на участках, подверженных максимальному антропогенному воздействию в прошлом (рис. 4). При снятии антропогенного пресса численность возросла, что может обуславливать более глубокую минерализацию органического вещества, способствующую синтезу прогумусовых соединений. Тенденция увеличения скорости разложения целлюлозного полотна прослеживалась на участках с наибольшим накоплением тяжёлых металлов (I, II) (рис. 5).

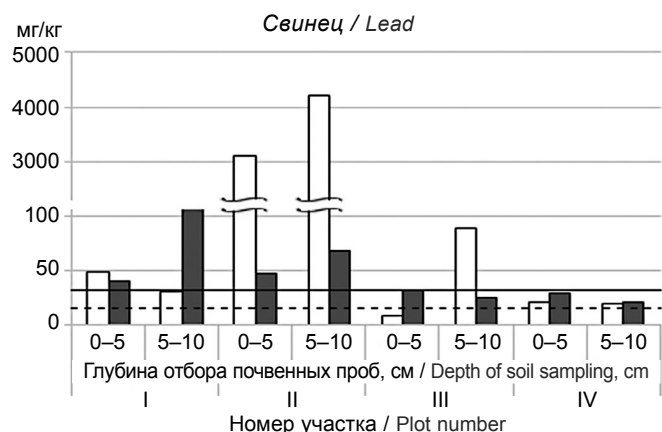
На основании данных о содержании тяжёлых металлов в почвах рассчитан комплексный показатель суммарного загрязнения Zс (Zn, Ni, Cu, Pb), который позволил провести оценку степени химического загрязнения почв. По сравнению с первым туром обследования (2002 г.) выявили снижение показателя суммарного загрязнения, что свидетельствует об улучшении экологической ситуации в настоящее время на обследуемой рекреационной территории. Установили, что в парке почвы могут быть отнесены к допустимой категории загрязнения, что соответствует низкому уровню заболеваемости детей и минимальной частоте встречаемости



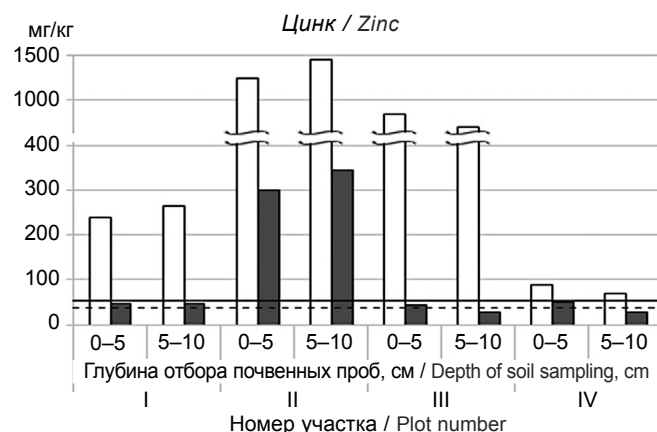
— ОДК 20 мг/кг / Approximate permissible concentrations 20 mg/kg
 - - - Региональный фон 27,5 мг/кг / Regional background 27.5 mg/kg



— ОДК 33 мг/кг / Approximate permissible concentrations 33 mg/kg
 - - - Региональный фон 18,5 мг/кг / Regional background 18.5 mg/kg



— ОДК 32 мг/кг / Approximate permissible concentrations 32 mg/kg
 - - - Региональный фон 15,5 мг/кг / Regional background 15.5 mg/kg



— ОДК 55 мг/кг / Approximate permissible concentrations 55 mg/kg
 - - - Региональный фон 37,2 мг/кг / Regional background 37.2 mg/kg

Год: / Years: □ 2002 ■ 2021

Рис. 3. Динамика содержания свинца, цинка, меди и никеля в почвах исследуемого участка.

Fig. 3. Trend in lead, zinc, copper, and nickel content in the soils of the study area.

Original article

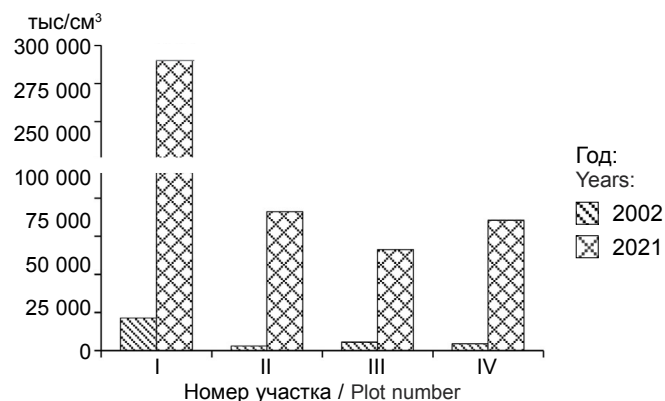


Рис. 4. Изменение численности микроорганизмов, использующих органические формы азота, в почвах обследуемой рекреационной зоны.

Fig. 4. Change in the number of microorganisms using organic forms of nitrogen in the soils of the surveyed recreational area.

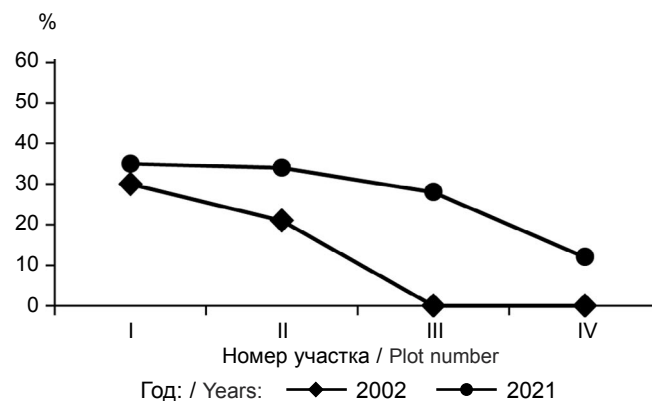


Рис. 5. Целлюлолитическая активность почв обследуемой рекреационной зоны, % разложения целлюлозы.

Fig. 5. Cellulolytic activity of soils of the studied recreational zone, % of cellulose decomposition.

Оценка степени химического загрязнения почв обследуемой рекреационной зоны

Assessment of the degree of chemical contamination of soils of the studied recreation zone

Номер пробной площадки Sample area number	Глубина отбора почв, см Soil sampling depth, cm	2002 год / years		2021 год / years	
		Комплексный показатель суммарного загрязнения Complex indicator of total pollution Zc	Категория загрязнения Pollution category	Комплексный показатель суммарного загрязнения Complex indicator of total pollution Zc	Категория загрязнения Pollution category
I	0–5	14.6	Допустимая / Acceptable	4.3	Допустимая / Acceptable
	5–10	12.2	Допустимая / Acceptable	19.8	Умеренно опасная / Moderately dangerous
II	0–5	81.2	Опасная / Dangerous	13.2	Допустимая / Acceptable
	5–10	106.8	Опасная / Dangerous	17.5	Умеренно опасная / Moderately dangerous
III	0–5	16.4	Умеренно опасная / Moderately dangerous	3.7	Допустимая / Acceptable
	5–10	23.5	Умеренно опасная / Moderately dangerous	2.5	Допустимая / Acceptable
IV	0–5	5.5	Допустимая / Acceptable	3.8	Допустимая / Acceptable
	5–10	4.3	Допустимая / Acceptable	2.0	Допустимая / Acceptable

функциональных отклонений (МУ 2.1.7.730–99¹). На участке, подверженном в прошлом наиболее интенсивному аэротехногенному воздействию, выявили увеличение показателя суммарного загрязнения в слое почв 5–10 см (см. таблицу), что соответствует умеренно опасной категории загрязнения почв. Последнее подтверждает необходимость проведения мониторинга почв на данной территории.

Обсуждение

Как известно, в исследовании экологической оценки почв в условиях урбанизации имеются неопределённые моменты, которые в данной области, и в том числе в настоящей работе, связаны с комплексным (комбинированным) антропогенным воздействием на почву, в результате которого возможно изменение всех звеньев трофоцепи превращения органического и минерального вещества, также с отсутствием локальных регламентирующих документов, которые обосновывают гигиенические нормативы химических веществ, которые загрязняют почву, с ограниченностью точек для мониторинга и работой со смешанными образцами почв, что создаёт проблему репрезентативности полученных данных, а также с необходимостью продолжения исследования содержания тяжёлых металлов, поиском наиболее индикатив-

ных расчётных коэффициентов. Довольно неоднозначен вопрос нормирования содержания тяжёлых металлов в почве. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ рассматриваются учёными как непостоянные относительные величины, которые зависят от почвенно-экологических факторов в конкретном регионе, ввиду чего невозможно разработать единые значения ПДК для различных регионов [13]. Несмотря на это, в российском законодательстве существуют общие установленные гигиенические нормативы ПДК/ОДК тяжёлых металлов в почвах различного гранулометрического состава – СанПиН 1.2.3685–21³, которые используются при их экологической оценке.

Мониторинг почв, сформировавшихся в условиях урбанизации, является одной из важных природоохранных задач, поскольку необходимо создавать комфортные условия для жизни человека, проводить мероприятия по снижению негативного воздействия [3]. На фоне техногенного воздействия происходит трансформация всех почвенных свойств, что приводит к нарушению их главной биосферной функции – биохимического барьера на пути потока поллютантов [14]. Эти изменения оказывают прямое и косвенное влияние на сопряжённые компоненты урбоэкосистемы – микробиоту, поверхностные и грунтовые воды и, в конечном итоге, на здоровье самого человека [15].

В естественных условиях в почве, сформировавшейся под листовыми древостоями, численность утилизирующих органические формы азота бактерий высокая [16]. Это связано с тем, что опад листовых растений имеет благоприятное сочетание макро- и микроэлементного состава, его минерализация биодеструкторами происходит быстро. Микроэлементы могут оказывать стимулирующий эффект на микробиоту, её функциональную активность, в результате происходит увеличение их численности, активация процессов синтеза гумуса. На основании изученных данных можно говорить о влиянии аэрополлютантов промышленных предприятий на свойства почв, однако в различных природно-климатических условиях оно может проявляться по-разному. Так, в статье Свистовой с соавт. выявлено изменение микоченоза почв в условиях урбанизации [17]. На фоне аэротехногенного загрязнения возможно увеличение содержания металлов, которые могут оказывать стимулирующий/ингибирующий эффект на микроорганизмы, возможно изменение численности отдельных эколого-трофических групп [18–20]. В работах Пряженниковой [21] показано изменение целлюлолитической активности городских почв.

При сравнении полученных результатов исследований с аналогичными нашими работами, выполненными для города Петрозаводска, отмечаем высокие коэффициенты накопления тяжёлых металлов, особенно это касается его центральной части, где уровень урбанистического воздействия наиболее высокий. В работе Новикова С.Г. [22] показано, что уровень загрязнения почв города Петрозаводска тяжёлыми металлами (Pb, Cr, Cu, Co, Ni, Mn, Zn) по комплексному показателю суммарного загрязнения Zc составляет 5,5 и может быть отнесён к допустимой категории загрязнения. На обследуемой территории городского парка «Ямка» был выявлен высокий уровень загрязнения почв, где показатель Zc равнялся 19,41 (>16), что соответствует умеренно опасной категории. Также отмечается, что расположение города близ Онежского озера делает работу ещё более актуальной, востребованной в связи с защитой и сохранением экологического каркаса городской среды [23].

Анализ литературы по актуализированной в статье проблематике показывает, что накопление тяжёлых металлов зависит от типа почв, вида аэрополлютантов, времени действия антропогенного воздействия [24]. С каждым годом спектр антропогенного воздействия усложняется, а значит, и усложняются методы его идентификации [25]. Полученные данные продемонстрировали снижение содержания тяжёлых металлов при снятии антропогенного пресса. Это согласуется с результатами других исследователей, которые отмечали аналогичную ситуацию: при снятии антропогенного воздействия уровень содержания тяжёлых металлов в почве снижался [26]. Однако надо отметить работу Майстренко В.Н. и соавт. [27], которые отмечали медленное очищение почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. Это ещё

раз подчёркивает роль почв как «память» об экологической ситуации, необходимость постоянного мониторинга.

Проанализировав создавшуюся экологическую ситуацию, можно отметить фитосанитарную роль растений, корни которых имеют большой контакт с аэрополлютантами, могут оказывать влияние на микробиоценоз. В целом полученные данные согласуются с данными других исследователей, однако необходимо отметить, что в настоящее время в связи с изменением климата роль микроорганизмов в детоксикации аэрополлютантов возрастает, изменяются их численность, активность, поэтому необходим пересмотр микробиологических показателей, анализ почв ненарушенных экосистем [28]. Возможен пересмотр сроков микробиологического мониторинга почв в условиях урбанизации, создание ключевых участков мониторинга на Северо-Западе России.

Данные урбоэкологического мониторинга являются актуальными в связи с принятием локальных природоохранных мероприятий по снижению антропогенного воздействия на такой важный кластер рекреационной зоны, которыми являются парки водоохранной зоны города Петрозаводска.

Заключение

Урбоэкологический мониторинг почв, сформировавшихся в рекреационной зоне города Петрозаводска, позволил установить изменение кислотно-щелочных свойств почв. Выявленная тенденция подщелачивания верхних горизонтов почв может быть связана с опадом листовых растений, кислотность которых низкая. При оптимальном сочетании гидро- и термического режимов, поступлении опада листовых растений создаются благоприятные условия для развития микробо- и фитокомплекса, а следовательно, возможность выполнения ими своих экосистемных функций.

Снижение содержания тяжёлых металлов в почве, а также рассчитанные значения комплексного показателя суммарного загрязнения позволили выявить улучшение почвенно-химической обстановки. Однако, несмотря на явное улучшение состояния урбоэкосистемы, необходимо проведение мониторинга для своевременного выявления изменений природной среды, в том числе расширение используемых индикаторов.

Из полученных данных о комплексном показателе суммарного загрязнения почв следует, что при уменьшении интенсивности аэротехногенного загрязнения концентрация тяжёлых металлов в почве снижается. Это приводит к уменьшению общей токсичности и повышению плодородия почв, что определяет её способность выполнять важнейшую функцию в урбоэкосистеме — поддержание биоразнообразия на территории города. В результате улучшения экологических условий снижается стресс-фактор городской среды и формируется комфортная обстановка для жизнедеятельности населения.

Литература

1. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории. *Географический вестник*. 2010; (3): 52–9. <https://elibrary.ru/ncsiad>
2. Добровольский Г.В., ред. *Почва, город, экология*. М.: За экономическую грамотность; 1997. <https://elibrary.ru/tnakox>
3. Копытенкова О.И., Леванчук А.В., Рябец В.В. Гигиенические аспекты оценки процесса формирования комфортной городской среды. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(6): 551–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-6-551-556> <https://elibrary.ru/fojqcd>
4. Водянова М.А., Ушакова О.В., Русаков Н.В., Евсеева И.С., Трегубова Л.Ю. Перспективы гигиенического нормирования почв. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(10): 1174–80. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1174-1180> <https://elibrary.ru/jbvtdd>
5. Гололобов Е.И., Красовитова Э.С. Экологические факторы урбанизации Севера Западной Сибири и их влияние на развитие городского хозяйства в середине 1960-х – 1980-е гг. *Вестник Томского государственного университета. История*. 2021; (73): 5–12.
6. Ананьева Н.Д., Иващенко К.В., Сушко С.В. Микробные показатели городских почв и их роль в оценке экосистемных сервисов (обзор). *Почвоведение*. 2021; (10): 1231–46. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21100038> <https://elibrary.ru/gzkgvp>
7. Лантратова А.С., Ицксон Е.Е., Марковская Е.Ф., Купсак Н.В. *Сады и парки в истории Петрозаводска*. Петрозаводск: Петропресс; 2003.
8. Ицксон Е.Е., Лантратова А.С. Парк Онежского тракторного завода в г. Петрозаводске. В кн.: *Карелия: энциклопедия. Том 2*. Петрозаводск: Петропресс; 2009.
9. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н. и др. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России. *Почвоведение*. 2014; (10): 1155–64. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100104> <https://elibrary.ru/snwniz>
10. Новиков С.Г., Ахметова Г.В. Почвы различных категорий землепользования г. Петрозаводска. *Почвоведение*. 2018; (9): 1132–41. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18090083> <https://elibrary.ru/xtbqes>
11. Звягинцев Д.Г., ред. *Методы почвенной микробиологии и биохимии*. М.; 1991.
12. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжёлыми металлами и металлоидами. *Почвоведение*. 2010; (10): 1276–80. <https://elibrary.ru/mvshfl>

Original article

13. Елькина Г.Я. Тяжелые металлы в системе почва-растение и подходы к нормированию их содержания в подзолистых почвах: доклад на заседании президиума Коми научного центра УрО Российской академии наук. Сыктывкар; 2007. <https://elibrary.ru/qkzwaw>
14. Бахматова К.А., Матинян Н.Н., Шешукова А.А. Антропогенные почвы городских парков (обзор). *Почвоведение*. 2022; (1): 77–95. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22010026> <https://elibrary.ru/pbvvvq>
15. Глушакова А.М., Лысак Л.В., Умарова А.Б., Прокофьева Т.В., Подушин Ю.В., Быкова Г.С. и др. Бактериальные комплексы урбанизированных территорий южных городов России. *Почвоведение*. 2021; (2): 224–31. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020052> <https://elibrary.ru/dtwkxs>
16. Федоренко Н.Г., ред. *Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги*. М.: Наука; 2006. <https://elibrary.ru/qkwont>
17. Свистова И.Д., Назаренко Н.Н., Корецкая И.И. Санитарно-опасные микелиальные микроорганизмы в почвах Воронежа. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(3): 247–50. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-247-250> <https://elibrary.ru/vtnpdx>
18. Синдирева А.В., Хамова О.Ф. Влияние селена на численность микроорганизмов и ферментативную активность лугово-черноземной почвы. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2011; (3): 22–6. <https://elibrary.ru/synpkj>
19. Лаптева А.К., Масленникова И.Л., Шишкин М.А., Максимова А.В., Кузнецова М.В. Эколого-геохимический мониторинг окружающей среды в г. Кудымкар (Пермский край). *Экология и промышленность России*. 2017; 21(6): 41–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-6-41-47> <https://elibrary.ru/yunodf>
20. Напрасникова Е.В. Санитарно-микробиологические и биохимические свойства почв индустриального города Усолье-Сибирское. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2019; 159(4): 55–7. <https://doi.org/10.34673/ismu.2019.26.27.012> <https://elibrary.ru/bcmmyl>
21. Прыженникова О.Е. Целлюлолитическая активность почв в условиях городской среды. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2011; (3): 10–3. <https://elibrary.ru/okaatv>
22. Новиков С.Г. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2015; (1): 78–85. <https://doi.org/10.17076/eco23> <https://elibrary.ru/tqbahl>
23. Савельев М.В., Киселева Д.А., Бондарь Н.В., Пигин Ю.А. Принципы формирования городских общественных рекреационных зон набережных территорий. *Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение*. 2019; (33): 173–88. <https://doi.org/10.17223/22220836/33/15> <https://elibrary.ru/zdihch>
24. Лепнева О.М., Обухов А.И. Экологические последствия влияния урбанизации на состояние почв Москвы. В кн.: *Экология и охрана природы Москвы и Московского региона*. М.; 1990: 63–9.
25. Николенько М.В., Пастухов М.В. Современные методы микробиологических исследований объектов окружающей среды. *Университетская медицина Урала*. 2017; 3(4): 30–2. <https://elibrary.ru/ympawj>
26. Ладонина Д.В., Михайлова А.П. Тяжелые металлы и мышьяк в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москвы: результаты многолетних исследований. *Почвоведение*. 2020; (11): 1401–11. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2011009X> <https://elibrary.ru/qyaslo>
27. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. *Эколого-аналитический мониторинг супертоксиантов*. М.: Химия; 1996.
28. Байбеков Р.Ф., Писарева А.В., Савич В.И., Мосина Л.П. Микробиологическая оценка загрязнения почв парков тяжелыми металлами. *Плодородие*. 2017; (2): 51–3. <https://elibrary.ru/ykuzyv>

References

1. Shklyayev V.A., Ermakova L.N., Shklyayeva L.S. Research of the microclimate of city with the purpose of the estimation of biometeorological parameters of inhabited territory. *Geograficheskij vestnik*. 2010; (3): 52–9. <https://elibrary.ru/ncsiad> (in Russian)
2. Dobrovolskiy G.V., ed. *Soil, City, Ecology [Pochva, gorod, ekologiya]*. Moscow: Za ekonomicheskuyu gramotnost'; 1997. <https://elibrary.ru/tnakox> (in Russian)
3. Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V., Ryabets V.V. Hygienic aspects of evaluating the process of creating a comfortable urban environment. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(6): 551–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-6-551-556> <https://elibrary.ru/vojqcd> (in Russian)
4. Vodyanova M.A., Ushakova O.V., Rusakov N.V., Evseeva I.S., Tregubova L.Yu. Prospects for hygienic regulation of soils. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(10): 1174–80. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1174-1180> <https://elibrary.ru/jbvtldh> (in Russian)
5. Gololobov E.I., Krasovitova E.S. Environmental factors of urbanization in the North of Western Siberia and their impact on urban development in the mid-1960s – 1980s. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya*. 2021; (73): 5–12. (in Russian)
6. Anan'eva N.D., Ivashchenko K.V., Sushko S.V. Microbial indicators of urban soils and their role in the assessment of ecosystem services: a review. *Eurasian Soil Science*. 2021; 54(10): 1517–31. <https://doi.org/10.1134/S1064229321100033> <https://elibrary.ru/jzkvus>
7. Lantratova A.S., Itsikson E.E., Markovskaya E.F., Kupsak N.V. *Gardens and parks in the history of Petrozavodsk [Sady i parki v istorii Petrozavodsk]*. Petrozavodsk: Petropress; 2003. (in Russian)
8. Itsikson E.E., Lantratova A.S. Park of the Omega Tractor Plant in Petrozavodsk. In: *Karelia: Encyclopedia. Volume 2 [Kareliya: entsiklopediya. Tom 2]*. Petrozavodsk: Petropress; 2009. (in Russian)
9. Prokof'eva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bakhmatova K.A., Gol'eva A.A., Gorbov S.N., et al. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system. *Eurasian Soil Science*. 2014; 47(10): 959–67. <https://doi.org/10.1134/S1064229314100093> <https://elibrary.ru/uffutz>
10. Novikov S.G., Akhmetova G.V. Soils of different land use categories in the city of Petrozavodsk. *Eurasian Soil Science*. 2018; 51(9): 1086–94. <https://doi.org/10.1134/S1064229318090089> <https://elibrary.ru/wturrh>
11. Zvyagintsev D.G., ed. *Methods of Soil Microbiology and Biochemistry [Metody zvyagintsevov mikrobiologii i biokhimii]*. Moscow; 1991. (in Russian)
12. Vodyanitskiy Yu.N. Equations for assessing the total contamination of soils with heavy metals and metalloids. *Eurasian Soil Science*. 2010; 43(10): 1184–8. <https://doi.org/10.1134/S106422931010011X> <https://elibrary.ru/ohmfid>
13. El'kina G.Ya. Heavy metals in the soil-plant system and approaches to standardizing their content in podzolic soils: report at a meeting of the presidium of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Syktyvkar; 2007. (in Russian)
14. Bakhmatova K.A., Matnyan N.N., Sheshukova A.A. Anthropogenic soils of urban parks: a review. *Eurasian Soil Science*. 2022; 55(1): 64–80. <https://doi.org/10.1134/S1064229322010021> <https://elibrary.ru/uvpzqo>
15. Glushakova A.M., Lysak L.V., Umarova A.B., Prokof'eva T.V., Bykova G.S., Podushin Y.V., et al. Bacterial complexes of urbansoils in southern cities of Russia. *Eurasian Soil Science*. 2021; 54(2): 257–63. <https://doi.org/10.1134/S1064229321020058> <https://elibrary.ru/mswpmo>
16. Fedorets N.G., ed. Soil Diversity and Biodiversity in Forest Ecosystems of the Middle Taiga [*Raznoobrazie pochv i bioraznoobrazie v lesnykh ekosistemakh sredney taygi*]. Moscow: Nauka; 2006. <https://elibrary.ru/qkwont> (in Russian)
17. Svistova I.D., Nazarenko N.N., Koretskaya I.I. Sanitary-dangerous filamentous microorganisms in soils of the city of Voronezh. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(3): 247–50. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-247-250> <https://elibrary.ru/vtnpdx> (in Russian)
18. Sindireva A.V., Khamova O.F. Influence of the selenium on total quantity of the microorganism and ferments activity of meadow-cherosem soil. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011; (3): 22–6. <https://elibrary.ru/synpkj> (in Russian)
19. Lapteva A.K., Maslennikova I.L., Shishkin M.A., Maksimova A.V., Kuznetsova M.V. Ecological-geochemical monitoring of environment in Kudymkar (Perm region). *Экология и промышленность России*. 2017; 21(6): 41–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-6-41-47> <https://elibrary.ru/yunodf> (in Russian)
20. Naprasnikova E.V. Sanitary-microbiological and biochemical properties of soils in the industrial city of Ussolye-Sibirskoe. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)*. 2019; 159(4): 55–7. <https://doi.org/10.34673/ismu.2019.26.27.012> <https://elibrary.ru/bcmmyl> (in Russian)
21. Pryazhennikova O.E. Tsellulozoliticheskiy activity of soils in the conditions of city medium. *Vestnik Kemerskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011; (3): 10–3. <https://elibrary.ru/okaatv> (in Russian)
22. Novikov S.G. Assessment of heavy metal contamination in soils of different land use types in Petrozavodsk. *Tруды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2015; (1): 78–85. <https://doi.org/10.17076/eco23> <https://elibrary.ru/tqbahl> (in Russian)
23. Savel'ev M.V., Kiseleva D.A., Bondar' N.V., Pigin Yu.A. The principles of the organization of public recreational areas in the city waterfront territories. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Kul'turologiya i iskusstvovedenie*. 2019; (33): 173–88. <https://doi.org/10.17223/22220836/33/15> <https://elibrary.ru/zdihch> (in Russian)
24. Lepneva O.M., Obukhov A.I. Ecological consequences of the influence of urbanization on the state of soils in Moscow. In: *Ecology and Nature Protection of Moscow and the Moscow Region [Ekologiya i ohrana prirody Moskvy i Moskovskogo regiona]*. Moscow; 1990: 63–9. (in Russian)
25. Nikolenko M.V., Pastukhov M.V. Modern methods of microbiological research of environmental objects. *Universitetskaya medicina Urala*. 2017; 3(4): 30–2. <https://elibrary.ru/ympawj> (in Russian)
26. Ladonina D.V., Mikhaylova A.P. Heavy metals and arsenic in soils and street dust of the Southeastern administrative district of Moscow: long-term data. *Eurasian Soil Science*. 2020; 53(11): 1635–44. <https://doi.org/10.1134/S1064229320110095> <https://elibrary.ru/mevqgs>
27. Maystrenko V.N., Khamitov R.Z., Budnikov G.K. *Ecological and Analytical Monitoring of Supertoxicants [Ekologo-analiticheskiy monitoring supertoksikantov]*. Moscow: Khimiya; 1996. (in Russian)
28. Baybekov R.F., Pisareva A.V., Savich V.I., Mosina L.P. Microbiological estimation of park soil contamination with heavy metals. *Ploдopodie*. 2017; (2): 51–3. <https://elibrary.ru/ykuzyv> (in Russian)