

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.4;504.054

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-102-112

## Комплексный подход в оценке экологического состояния городских парковых почв

Светлана Г. Скугорева<sup>1</sup>, Людмила И. Домрачева<sup>1,2</sup>, Анна И. Фокина<sup>3</sup>, Татьяна И. Кутявина<sup>3</sup>, Олим М. Абдухалилов<sup>4</sup>, Василий Н. Кулаков<sup>3</sup>, Тамара Я. Ашихмина<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

<sup>2</sup>Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

<sup>3</sup>Вятский государственный университет, Киров, Россия

<sup>4</sup>Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия

### Контактное лицо

Светлана Г. Скугорева, кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник, лаборатория биомониторинга, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН; 167982 Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28.

Тел. +79539412061

Email [skugoreva@mail.ru](mailto:skugoreva@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

### Формат цитирования

Скугорева С.Г., Домрачева Л.И., Фокина А.И., Кутявина Т.И., Абдухалилов О.М., Кулаков В.Н., Ашихмина Т.Я. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских парковых почв // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 102-112. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-102-112

Получена 20 октября 2021 г.

Прошла рецензирование 12 февраля 2022 г.

Принята 6 сентября 2022 г.

### Резюме

**Цель.** Оценить экологическое состояние почв парковых территорий и сквера г. Кирова (Кировская область), находящихся вблизи зон интенсивного транспортного движения, с использованием комплексного подхода, базирующегося на данных физико-химического, микробиологического анализов и биотестирования.

**Материал и методы.** Образцы почв отбирали на участках в сквере 60-летия СССР, парке им. С.М. Кирова, парке им. 50-летия ВЛКСМ. Концентрацию неорганических ионов и содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах определяли методом ионной и высокоэффективной жидкостной хроматографии соответственно, валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) – атомно-абсорбционной спектроскопией. Количественный учет микроорганизмов проводили методом предельных разведений с последующим посевом на селективные питательные среды. Биотестирование осуществляли с использованием простейших *Paramecium caudatum* и бактериальной тест-системы «Эколюм».

**Результаты.** Изучены особенности ионного состава почв парков г. Кирова. В водной вытяжке исследуемых почв из анионов преобладали сульфат- и хлорид-ионы, из катионов – ионы кальция. Среди исследованных групп микроорганизмов на лидирующие позиции выходят бактерии-аммонификаторы, доля которых в микробном комплексе достигает 65,35–86,54%. Между содержанием элементов питания и численностью аммонификаторов существует тесная взаимосвязь. Валовые концентрации ТМ в образцах почв парков г. Кирова не превышали их ориентировочно допустимые концентрации, в то же время содержание Pb, Zn и Co было выше регионального фона до 3,1 раза. Наибольшим содержанием ПАУ, максимальными значениями суммарной канцерогенной активности и токсичностью по ответной реакции *P. caudatum* характеризовались почвенные образцы, отобранные на участках вблизи автодорог.

**Заключение.** Экологическое состояние городских парковых почв в целом можно охарактеризовать как удовлетворительное. Тем не менее, для парковых почв в непосредственной близости от автодорог выявлены повышенные значения концентрации ПАУ. Определение содержания ПАУ в почвах может быть рекомендовано для включения в программу мониторинга окружающей среды в городах, в связи с устойчивостью ПАУ в окружающей среде, их мутагенными и канцерогенными свойствами, отсутствием нормативов по содержанию большинства из них в природных средах.

### Ключевые слова

г. Киров, парки, скверы, почвы, тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды, численность микроорганизмов, биотестирование.

# An integrated approach to assessing the ecological state of urban park soils, Kirov, Russia

Svetlana G. Skugoreva<sup>1</sup>, Lyudmila I. Domracheva<sup>1,2</sup>, Anna I. Fokina<sup>3</sup>, Tatiana I. Kutyavina<sup>3</sup>,  
Olim M. Abdukhalilov<sup>4</sup>, Vasily N. Kulakov<sup>3</sup> and Tamara Ya. Ashikhmina<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

<sup>2</sup>Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

<sup>3</sup>Vyatka State University, Kirov, Russia

<sup>4</sup>N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

## Principal contact

Svetlana G. Skugoreva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Researcher, Biomonitoring Laboratory, Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 28 Kommunisticheskaya St, Syktyvkar, Russia 167982.

Tel. +79539412061

Email [skugoreva@mail.ru](mailto:skugoreva@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

## How to cite this article

Skugoreva S.G., Domracheva L.I., Fokina A.I., Kutyavina T.I., Abdukhalilov O.M., Kulakov V.N., Ashikhmina T.Ya. An integrated approach to assessing the ecological state of urban park soils, Kirov, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 102-112. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-102-112

Received 20 October 2021

Revised 12 February 2022

Accepted 6 September 2022

## Abstract

**Aim.** Assess the ecological state of soils in park areas and public gardens in the city of Kirov, Kirov region, Russia, which are located near areas of heavy traffic, using an integrated approach based on data from physicochemical, microbiological analyzes and biotesting.

**Material and Methods.** Soil samples were taken at various sites in the 60th Anniversary of the USSR Square, in the S.M. Kirov Park and in the 50th Anniversary of the Komsomol Park. The concentration of inorganic ions and the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soils were determined by ionic and high-performance liquid chromatography, respectively. The total content of heavy metals (HM) was determined by atomic absorption spectroscopy. Quantitative registration of microorganisms was carried out by the method of limiting dilutions with subsequent inoculation on selective nutrient media. Biotesting was carried out using the protozoa *Paramecium caudatum* and the Ecolum bacterial test system.

**Results.** The features of the ionic composition of soils in Kirov parks were studied. In the aqueous extract of the studied soils, sulphate and chloride ions predominated among anions, and calcium ions among cations. Among the groups of microorganisms studied, ammonifying bacteria take the leading positions, the share of which in the microbial complex reaches 65.35–86.54%. There is a close relationship between the content of nutrients and the number of ammonifiers. The gross concentration of HMs in soil samples from parks in Kirov did not exceed their approximate permissible concentration, while the content of Pb, Zn, and Co was up to 3.1 times higher than the regional background. The highest content of PAHs, maximum values of total carcinogenic activity and toxicity to *P. caudatum* were found in soil samples taken from areas near highways.

**Conclusion.** The ecological state of urban park soils in Kirov in general can be characterised as satisfactory. Nevertheless, for park soils in the immediate vicinity of highways, increased values of PAH concentration were revealed. Determination of the PAH content in soils can be recommended for inclusion in the environmental monitoring programme in cities because of the persistence of PAHs in the environment, their mutagenic and carcinogenic properties, and the lack of standards for the content of most PAHs in natural environments.

## Key Words

Kirov, parks, squares, soils, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, the number of microorganisms, bioassay.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы процесс урбанизации все больше наращивает свои темпы. По прогнозам демографов к 2030 г. городские жители составят 60% от общего населения планеты, а к 2050 г. – 72% [1]. Занимая всего 2% суши, города потребляют три четверти мировых ресурсов и оказывают решающее воздействие на окружающую среду (ОС). Формирование устойчивой, экологически безопасной городской среды в значительной степени определяет качество жизни людей [2].

Почва – важная составляющая часть городских экосистем, обеспечивающая их очищение, нейтрализацию токсикантов, сохранность зеленых насаждений [3]. Почва – малоподвижная природная система, поэтому миграция поллютантов в ней происходит медленно, что приводит к их аккумуляции, особенно в верхних горизонтах [4]. К наиболее опасным для биоты поллютантам относятся соединения тяжелых металлов (ТМ) [5; 6] и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [7], обладающие высокой токсичностью, стойкостью и аккумуляцией в ОС.

Традиционно для оценки состояния почв используются физико-химические методы анализа, которые позволяют определять содержание различных веществ, сравнивать их с предельно (ПДК) и/или ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) и делать вывод о загрязнении. Однако такой подход не всегда эффективен: токсичных веществ много, а их совместное действие на живой организм не всегда можно предугадать.

Для качественной и эффективной оценки состояния почв необходимо использовать комплексный подход, сочетающий наряду с физико-химическими методами исследования биологические методы, такие как биоиндикацию и биотестирование. Интегральное влияние антропогенных факторов на экосистемы можно оценить только по реакции живых организмов и их сообществ. Чуткими индикаторами, резко реагирующими на различные изменения в среде, являются микроорганизмы (МО). Биотестирование обычно проводят с использованием тест-организмов различных систематических групп [8].

В городах наибольшему техногенному воздействию подвергаются почвы вблизи промышленных предприятий, крупных автодорог и автозаправок [6; 9; 10]. Парки и скверы, как правило, не подвергаются сильному загрязнению, однако вблизи автодорог они могут испытывать достаточно сильную техногенную нагрузку.

В последние годы неоднократно проводилось исследование химического и микробиологического состава почв различных парков, садов и скверов г. Кирова, в том числе как самых старых, существующих с начала позапрошлого столетия, так и совсем новых, возраст которых не превышает 15 лет [9; 11–14].

Цель данной работы – оценить экологическое состояние почв парковых территорий и сквера г. Кирова, находящихся вблизи зон интенсивного транспортного движения, с использованием комплексного подхода, базирующегося на данных физико-химического, микробиологического анализов и биотестирования.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы почв отбирали в октябре 2020 г. методом конверта из верхних горизонтов почв с глубины 0–5 см в парках и сквере г. Кирова. Участки П1 и П2 находились в сквере 60-летия СССР вблизи ул. Карла Маркса и ул. Горбачева соответственно. В парке им. С.М. Кирова расположены участки П3 (вблизи ул. Горького) и П4 (в глубине парка рядом с прудами). В парке им. 50-летия ВЛКСМ находились участки: П5 – рядом с ул. Калинина, П6 – вблизи ул. Некрасова, П7 – в глубине парка. Данные парки и сквер расположены в центральной части города и являются местом отдыха кировчан и гостей города.

Водородный показатель определяли потенциометрическим методом на рН-метре-иономере «Эксперт-001» для водной вытяжки из почв по ГОСТ 26423-85, для солевой вытяжки – по ГОСТ 26483-85. Концентрацию неорганических ионов в почвенной вытяжке (почва : дистиллированная вода = 1 : 5) определяли методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» по ФР.1.31.2008.01738 и ФР.1.31.2008.01724. Затем пересчитывали концентрацию ионов на их содержание в сухой почве с учетом влажности. Определение валового содержания ТМ в почвенных образцах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «Спектр-5-4» по ФР.1.31.2018.31189. Погрешность измерений содержания ионов и элементов составила 10–20%.

Содержание ПАУ в урбаногемах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе «Люмахром» по МУК 4.1.1274-03.

Расчет канцерогенной активности суммы ПАУ  $A_{\sum \text{ПАУ}}^k$  проводили по формуле [15]:

$$A_{\sum \text{ПАУ}}^k = \sum_{i=1}^m K_{\text{ПАУ}_i} \cdot C_{\text{ПАУ}_i},$$

где  $K_{\text{ПАУ}_i}$  – коэффициент канцерогенной активности  $i$ -ого ПАУ относительно бенз[а]пирена;  $C_{\text{ПАУ}_i}$  – концентрация  $i$ -ого ПАУ в почве, выраженная в абсолютных единицах (мкг/кг);  $m$  – число ПАУ.

Для учета численности трех групп МО бактерий-аммонификаторов, азотфиксаторов и микромицетов использовали плотные питательные среды соответственно: ГРМ-агар, Эшби и Чапека. Глубинный посев проводили из разведений 1 : 1000 в трехкратной повторности.

Оценку токсичности образцов почв проводили методом биотестирования с использованием двух тест-организмов различных таксономических групп: простейших *Paramecium caudatum* (ФР.1.39.2015.19243 ПНД Ф Т 16.2:2.2-98) и бактериальной тест-системы «Эколюм», которая представляет собой лиофилизированные культуры люминесцентных бактерий *Escherichia coli* (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 Т 16.1:2:3:3.8-04).

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Содержание неорганических ионов.** Все водные вытяжки имели слабощелочную и щелочную, солевые вытяжки – нейтральную и слабощелочную реакцию среды (рис. 1). Значения рН для солевой вытяжки исследованных почв (6,8–7,1) значительно выше сред-

него значения для почв г. Кирова (рН 5,4) [16]. Для городских почв смещение рН почвенной вытяжки в щелочную сторону может быть связано с поступлением пыли, содержащей взвешенные вещества, карбонаты кальция и магния, с применением антигололедных реагентов и т. п.

Для большинства образцов почв можно представить следующий ряд по снижению содержания

анионов:  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{NO}_3^-$  (рис. 2). Исключение составил образец П6, отобранный под древесной растительностью в парке им. 50-летия ВЛКСМ со стороны ул. Некрасова: максимальные значения концентраций характерны для нитрат- и фосфат-ионов. При этом концентрация нитратов в данном образце превышает ПДК (130 мг/кг) (СанПиН 1.2.3685-21).

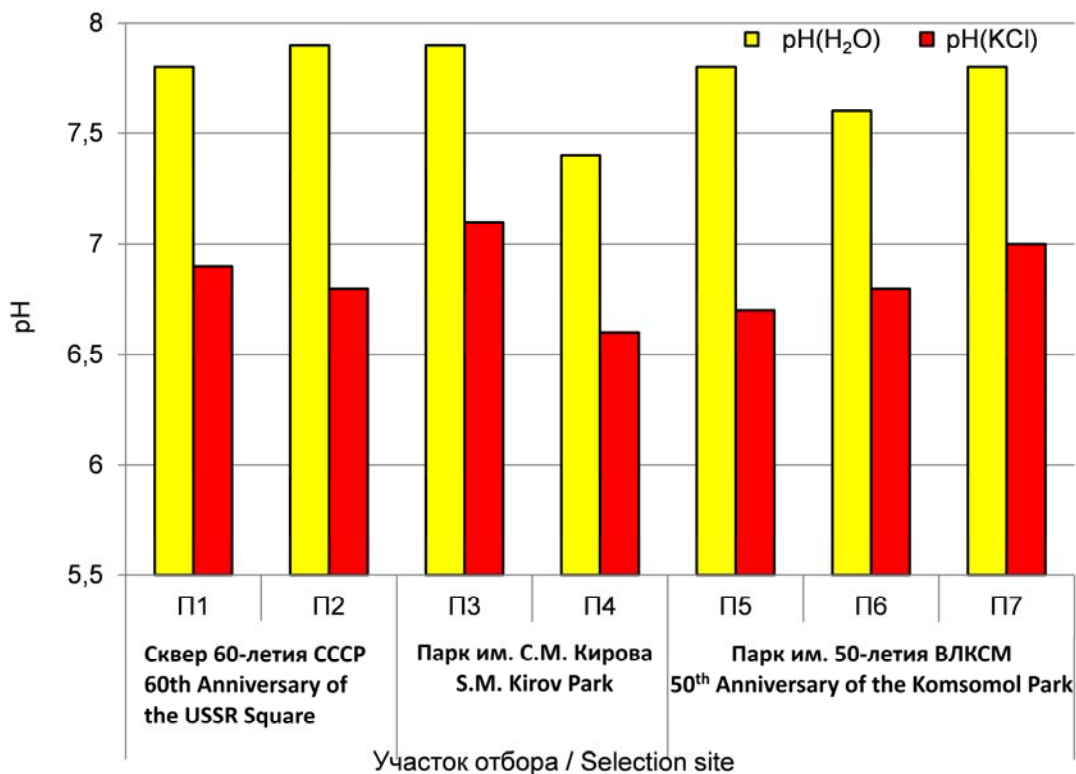


Рисунок 1. рН почвенной вытяжки

Figure 1. pH of soil extract

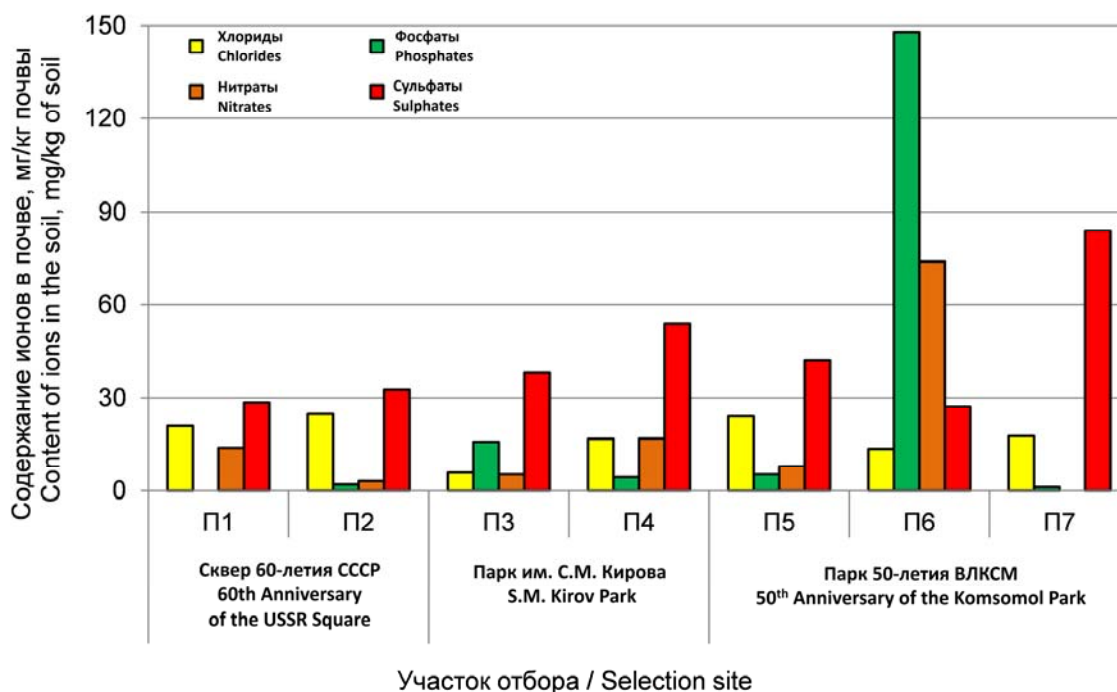


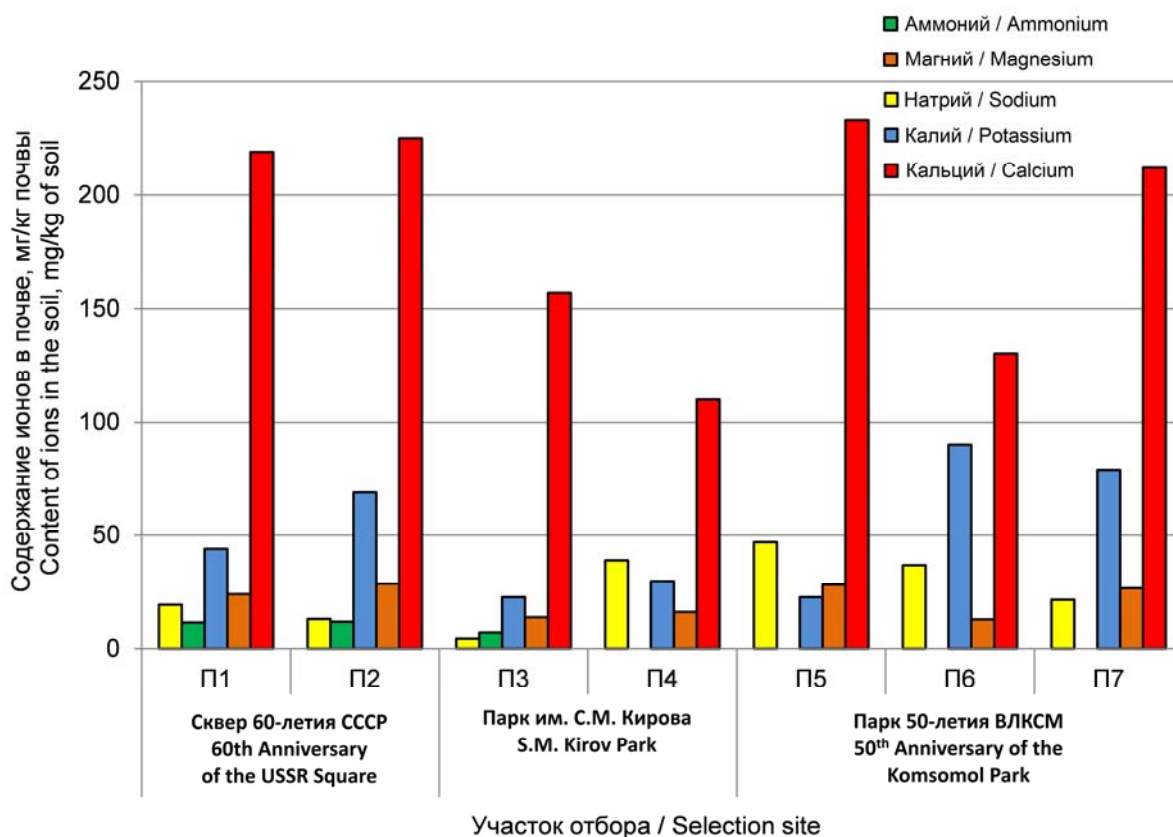
Рисунок 2. Содержание неорганических анионов в почве (водорастворимые формы), мг/кг почвы

Figure 2. Content of inorganic anions (water-soluble forms) in soil, mg/kg of soil

В большинстве образцов ионы аммония в водной вытяжке не были обнаружены (рис. 3). Для образцов П1, П2 и П3 содержание  $\text{NH}_4^+$  составило 7,4–12,1 мг/кг почвы. Концентрация ионов кальция в образцах варьировала от 110 до 233 мг/кг, что несколько выше по сравнению со средними значениями для почв г. Кирова (108 мг/кг) [16]. При этом между значениями содержания  $\text{Ca}^{2+}$  и pH водной вытяжки существует достаточно высокая прямая корреляционная взаимосвязь ( $r = 0,76$ ). Вероятно, что подщелачивание

почвенной вытяжки связано с повышенными концентрациями ионов кальция.

По результатам исследования для большинства исследуемых проб почв можно составить ряд по снижению содержания катионов:  $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+$ . Исключение в распределении ионов составили образцы П5, П6 из в парка им. 50-летия ВЛКСМ и образец П4 из парка им. Кирова. Данные образцы характеризуются повышенным содержанием  $\text{Na}^+$ .



**Рисунок 3.** Содержание неорганических катионов (водорастворимые формы) в почве, мг/кг почвы  
**Figure 3.** Content of inorganic cations (water-soluble forms) in the soil, mg/kg of soil

Образец П6, отобранный под древесными насаждениями парка им. 50-летия ВЛКСМ со стороны ул. Некрасова, характеризовался высоким уровнем содержания всех элементов питания (табл. 1). Высоким содержанием калия отличается образец П7, отобранный в этом же парке под травянистой расти-

тельностью, а также образцы П1 и П2 из сквера 60-летия СССР. Остальные образцы имеют низкую и очень низкую обеспеченность элементами питания [17]. В целом полученные значения по обеспечению калием и фосфором исследованных почв для растений очень близки к средним значениям для почв г. Кирова [16].

**Таблица 1.** Содержание элементов питания в почве, мг/кг почвы  
**Table 1.** Content of nutrients in the soil, mg/kg of soil

Место отбора образца Sampling location	Участок отбора Selection site	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sub>2</sub> O <sub>подв.</sub> K <sub>2</sub> O <sub>mob.</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5подв.</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5mob.</sub>
Сквер 60-летия СССР 60th Anniversary of the USSR Square	П1	9,2	но	107***	41,2
	П2	9,4	0,46	166**	9,3
Парк им. С.М. Кирова S.M. Kirov Park	П3	5,8	3,5	54	15,5
	П4	но	0,96	73	50***
Парк им. 50-летия ВЛКСМ 50th Anniversary of the Komsomol Park	П5	но	1,18	55	23,3
	П6	но	34*	217*	221*
	П7	но	0,27	190*	но

Примечание: но – ниже предела обнаружения метода. Обеспеченность почвы элементом питания для растений [16]: \* – высокая, \*\* – повышенная, \*\*\* – средняя [16]

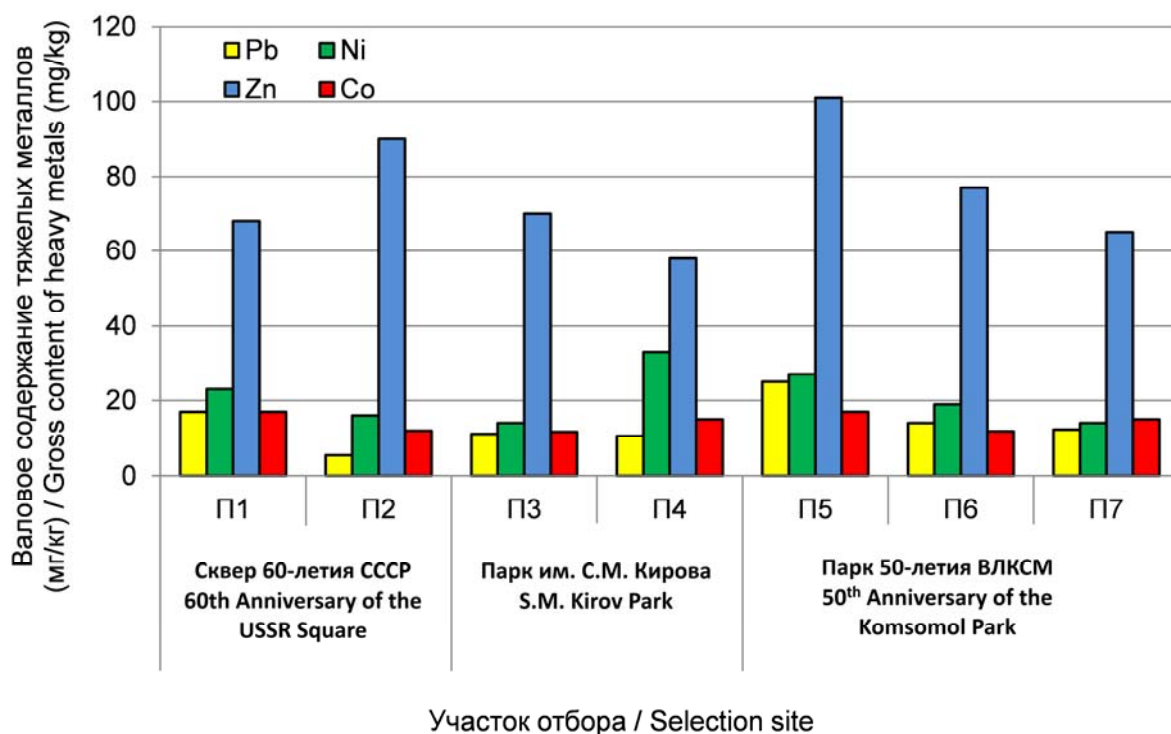
Note: no – below the detection limit of the method; \* – high, \*\* – increased, \*\*\* – average supply of the soil with a nutrient for plants [16]



**Содержание тяжелых металлов.** Валовое содержание свинца в почвенных образцах варьировало от 5,5 до 25 мг/кг (рис. 4). Высокие значения, превышающие фон для почв Кировской области до 2,1 раза, были отмечены для почв парка им. 50-летия ВЛКСМ. Повышенное относительно регионального фона (12 мг/кг) [18] значение установлено также для образца П1, отобранного в сквере 60-летия СССР вблизи ул. Карла Маркса. Данный сквер представляет собой отреставрированный овраг в центре города, в который в весенний период с талыми водами и дождевыми осадками с городской территории, проезжих улиц поступают потоки загрязненных ливневых вод, содержащих в своем составе многие ТМ, в том числе и свинец, который зачастую содержится в выбросах автотранспорта и в составе уличных смывов накапливается в почвах вблизи автомагистралей. Не смотря на запрет использования этилированных бензинов, в бензине марок АИ-92, АИ-95 и дизельном топливе до сих пор обнаруживается свинец в концентрациях, превышающих ГОСТ 2084-77 в 4,6–15,4 раза [19].

Содержание кадмия в почве на разных участках варьировало от 0,20 до 0,41 мг/кг, что не превышало ОДК (2,0 мг/кг). Концентрация никеля составила 14–33 мг/кг почвы (рис. 4), что ниже значений ОДК (80 мг/кг) и регионального фона (33 мг/кг) [18]. Содержание цинка в образцах почв практически во всех случаях было выше регионального фона (55 мг/кг) в 1,7 раза. Источником загрязнения цинком городских почв могут быть выбросы автотранспорта, использующего цинкостойкие присадки; цинкостойкие краски, используемые в строительстве; гальванические производства, предприятия металлургической и топливной промышленности.

Концентрация кобальта во всех образцах почв была в 2,2–3,1 раза выше по сравнению с фоном (5,4 мг/кг) [18]. В почву соединения кобальта могут поступать при разложении растительных и животных организмов, а также со сточными водами металлургических, металлообрабатывающих и химических заводов [20].



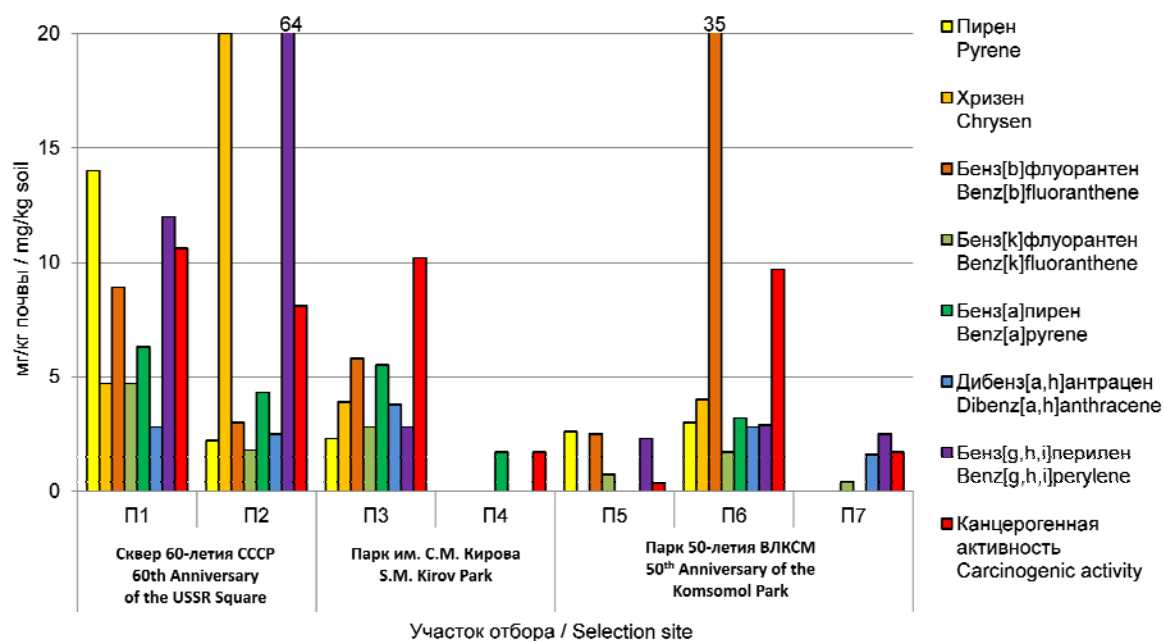
**Рисунок 4.** Валовое содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах парков г. Кирова  
**Figure 4.** Gross content of heavy metals (mg/kg) in soils of parks in Kirov

**Содержание ПАУ.** Одним из антропогенных источников ПАУ является неполное сгорание топлива, в том числе автомобильного [19]. Бенз[а]пирен (БП) – токсикант 1 класса опасности, его ПДК в почве составляет 20 мкг/кг (СанПиН 1.2.3685-21). Бенз[а]пирен был обнаружен почти во всех пробах почв, за исключением П7 (рис. 5). Максимальным содержанием БП характеризовался образец почвы с участка П1 (6,3 мкг/кг), минимальным – образец П4 (1,7 мкг/кг). Во всех почвенных образцах содержание БП не превышало ПДК.

В почвенных образцах, отобранных на участках вблизи автотранспортных дорог (П1, П2, П3, П6), были идентифицированы все семь представителей ПАУ. Канцерогенная активность суммы ПАУ в почве на данных участках максимальна и колеблется от 9,7 до

10,6 мкг/кг, особенно высоки значения для сквера 60-летия СССР. Ранее было установлено, что в пробах родниковой воды, отобранных в данном сквере содержание бенз[а]пирена превышало ПДК в 2,9 раза, а канцерогенная активность (39,2 нг/дм<sup>3</sup>) была в 15–36 раз выше по сравнению с другими родниками в черте города [21]. Относительно благополучным по содержанию ПАУ является участок П5, в почве которого канцерогенная активность суммы ПАУ является минимальной (0,35 мкг/кг), а также участки П4 и П7 (1,7 мкг/кг).

По сравнению с участками вблизи ТЭЦ-5 г. Кирова [22] в почвах исследованных парков и в сквере г. Кирова содержание ПАУ было не высоко.

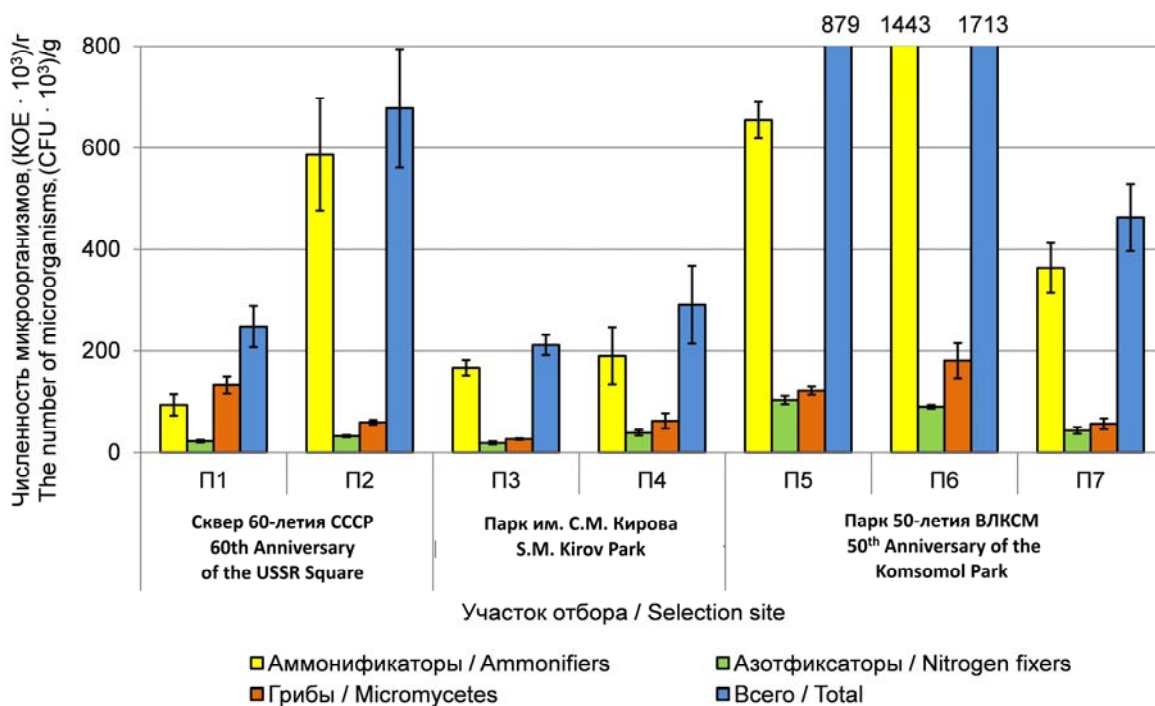


**Рисунок 5.** Содержание ПАУ и канцерогенная активность суммы ПАУ в почвах парков г. Кирова

**Рисунок 5.** Content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and carcinogenic activity of major PAH in the soils of parks in Kirov

*Микробиологический анализ почв.* Минимальная численность МО характерна для почв парка им. Кирова (рис. 6). Наибольшее обилие МО отмечалось в почвах парка им. 50-летия ВЛКСМ, при этом на участках,

расположенных в различных частях парка, численность МО варьировала в широких пределах: от 463 тыс. до 1713 тыс. КОЕ/г почвы.



**Рисунок 6.** Численность различных групп микроорганизмов в почвах парков г. Кирова

**Figure 6.** Number of different groups of microorganisms in the soils of parks in Kirov

Сквер им. 60-летия СССР обустроен на месте оврага и находится намного ниже городских улиц, между которыми он расположен. Кроме того, в сквере постоянно с весны до осени работают несколько фонтанов, что приводит к наиболее высокой увлажненности почв и особенностям их микробиологического состава. Почва на различных участках данного сквера характеризуется большой разницей в

численности МО-деструкторов органических веществ: аммонификаторов и микромицетов (рис. 6).

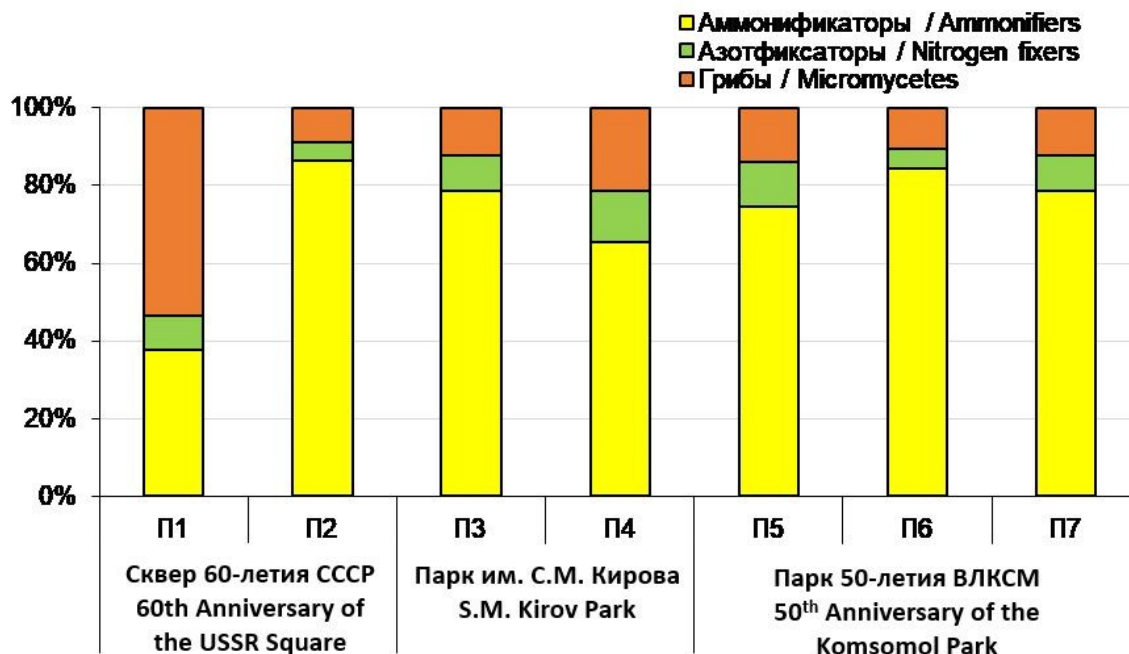
Между численностью МО и содержанием элементов питания в почве выявлена тесная взаимосвязь. Она особенно высока между численностью аммонификаторов и содержанием нитратного азота ( $r = 0,88$ ), калия ( $r = 0,81$ ), фосфора ( $r = 0,62$ ). Участок с высоким содержанием NPK (П6)

характеризуется и наиболее высокими значениями численности МО.

Абсолютное доминирование (65,35–86,54%) в микробном комплексе почвы практически во всех образцах принадлежит бактериям-аммонификаторам (рис. 7). И только на участке П1 в структуре микробных популяций доминируют микромицеты (53,56%), что может быть связано с повышенным содержанием ПАУ в

почве на данном участке, расположенном в непосредственной близости от оживленной автодороги.

Таким образом, различная антропогенная нагрузка, тип наземной растительности, химический состав и влажность почвы исследованных парков приводит к различию в уровне развития в них ведущих групп почвенных МО.



#### Место и участок отбора образца / Sampling location and area

Рисунок 7. Структура микробных популяций в почвах парков г. Кирова (%)

Figure 7. Structure of microbial populations in the soils of parks in Kirov (%)

**Биотестирование почвенных образцов.** Для всех анализируемых образцов при тестировании с использованием *Escherichia coli* получены отрицательные значения индекса токсичности  $T$  (табл. 3), что свидетельствует о стимуляции биолюминесценции. Согласно методике измерений ПНД Ф Т 14.1:2.3:4.11-04 Т 16.1:2.3:3.8-04,  $T$  в таком случае приравнивается к нулю и делается вывод об отсутствии токсичности

образца. Простейшие *P. caudatum* при тестировании почв парковых территорий г. Кирова оказались более чувствительными тест-объектами по сравнению с *E. coli*. По поведенческой реакции *P. caudatum* все образцы почв, за исключением отобранных с участков 4П и 5П, обладали умеренной степенью токсичности (табл. 3) [23].

Таблица 3. Значения индекса токсичности водных вытяжек из почв парковых территорий г. Кирова, определенные по реакции *Escherichia coli* и *Paramecium caudatum*

Table 3. The values of the toxicity index of water extracts from the soils of the park areas of the city of Kirov, determined by the reaction of *Escherichia coli* and *Paramecium caudatum*

Место отбора образца Sampling location	Участок отбора Selection site	Индекс токсичности, $T$ (условных единиц) Toxicity index, $T$ (conventional units)		Степень токсичности Degree of toxicity
		<i>Escherichia coli</i>	<i>Paramecium caudatum</i>	
Сквер 60-летия СССР 60th Anniversary of the USSR Square	1П	0 (-74,79)	0,68±0,41	умеренная moderate
	2П	0 (-123,14)	0,46±0,27	
Парк им. С.М. Кирова S.M. Kirov Park	3П	0 (-102,79)	0,69±0,42	допустимая admissible
	4П	0 (-241,32)	0,38±0,23	
Парк им. 50-летия ВЛКСМ 50th Anniversary of the Komsomol Park	5П	0 (-48,79)	0,20±0,12	умеренная moderate
	6П	0 (-32,07)	0,67±0,40	
	7П	0 (-26,03)	0,45±0,27	

Для образцов почв с участков 1П, 3П и 6П значения  $T$ , определенные по реакции *P. caudatum*, являются

пограничными между II и III группами токсичности. Согласно методике измерений ФР.1.39.2015.19243



ПНД Ф Т 16.2:2.2-98, к III группе токсичности относят образцы с  $T > 0,70$  усл. ед., для них характерна высокая степень токсичности.

Выявлена высокая прямая корреляционная взаимосвязь между токсичностью образцов почв по реакции *P. caudatum* и содержанием бенз[а]пирена ( $r = 0,80$ ), дибенз[а, h]антрацена ( $r = 0,90$ ), канцерогенной активностью суммы ПАУ ( $r = 0,90$ ). Чем выше канцерогенная активность почвенных образцов, тем более они токсичны для простейших *P. caudatum*. Исключение составил образец почвы с участка П2, канцерогенная активность которого достаточно высока, а значение индекса токсичности сопоставимо с образцом почвы участка П7, содержание ПАУ в котором минимально. Вероятно, в почвенных образцах присутствуют и другие поллютанты, сочетание которых может по-разному влиять на используемый тест-объект.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Валовое содержание ТМ в образцах почв парков г. Кирова не превышало ОДК, в то же время установлены превышения регионального фона для большинства образцов по содержанию свинца (до 2,1 раза), цинка (до 1,7 раза) и кобальта (до 3,1 раза).

Для большинства образцов почв парков г. Кирова ряд по снижению содержания катионов имеет следующий вид: кальций > калий > натрий > магний > аммоний, для анионов: сульфаты > хлориды > фосфаты > нитраты. Образец, отобранный под древесной растительностью парка им. 50-летия ВЛКСМ, имеет несколько иной порядок распределения ионов за счет высокого содержания фосфатов и нитратов (выше ПДК). Особенности ионного состава почвенной вытяжки могут быть обусловлены специфичностью растительности, произрастающей на данном участке (лиственные и хвойные деревья), наличием подстилки, а также характером антропогенной нагрузки.

Наибольшим содержанием ПАУ и максимальными значениями суммарной канцерогенной активности характеризуются почвенные образцы, отобранные на участках вблизи автодорог. Особенно высокие концентрации ПАУ в почве выявлены в сквере 60-летия СССР, который находится вблизи дорог с интенсивным автомобильным движением и в понижении ландшафта, где могут с ливневыми стоками с дорог поступать пыль и выбросы автотранспорта.

Максимальная численность МО выявлена на участке под древесной растительностью в парке им. 50-летия ВЛКСМ, почва которого характеризуется высоким содержанием элементов питания. Минимальная численность МО наблюдается в почвенных образцах сквера им. 60-летия СССР. В большинстве исследованных почвенных образцов абсолютное доминирование в структуре микробных популяций принадлежит бактериям аммонификаторам. Между содержанием элементов питания и численностью аммонификаторов в почве установлена прямая корреляционная взаимосвязь.

Наиболее токсичными по ответной реакции *P. caudatum* оказались образцы почв, отобранные в парках г. Кирова вблизи автодорог. Выявлена высокая прямая корреляционная взаимосвязь между токсичностью образцов почв по реакции *P. caudatum* и содержанием в почвах бенз[а]пирена, дибенз[а, h]антрацена, канцерогенной активностью суммы ПАУ. Образцы почв,

отобранные в глубине парков, проявляли меньшую токсичность по отношению к простейшим *P. caudatum*.

Таким образом, используемый в работе комплексный подход позволяет охарактеризовать экологическое состояние городских парковых почв в целом как удовлетворительное. Тем не менее, для парковых почв в непосредственной близости от автодорог характерно повышенное содержание ПАУ, что, вероятно, приводит к острому токсическому действию на тест-объект *P. caudatum*. В связи с устойчивостью ПАУ в ОС, их мутагенными и канцерогенными свойствами, отсутствием нормативов по содержанию в природных средах (за исключением бенз[а]пирена), определение содержания ПАУ в почвах может быть рекомендовано для включения в программу мониторинга окружающей среды городских территорий.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 122040100032-5.

## ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Biology of the Federal Research Centre, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences on the topic "Structure and State of the Components of Technogenic Ecosystems in the Southern Taiga Subzone", state registration number in EGISU No. 122040100032-5.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Исаков Д. Вызовы-2050: ускоренная урбанизация, сплошная цифровизация, миграция, альтернативная энергия // Мегатренды. 2021  
URL: <https://megatrends.ru/blog/challenges-2050-accelerated-urbanization-completely/> (дата обращения: 20.09.2021)
- Корендяева Е.В. Экологические аспекты управления городом. Москва: МГУУ Правительства Москвы, 2017. 140 с.
- Мудрый И.В. Влияние химического загрязнения почвы на здоровье населения // Гигиена и санитария. 2008. N 4. С. 32–37.
- Абросимова О.В., Трояновская Е.С., Меркулова М.Ю., Тихомирова Е.И. Оценка экологического состояния почвенного покрова г. Саратова // Поволжский экологический журнал. 2012. N 4. С. 376–384.
- Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я., Фокина А.И., Лялина Е.И. Химические основы токсического действия тяжелых металлов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2016. N 1. С. 4–13. DOI: 10.25750/1995-4301-2016-1-014-019
- Солтанмурадова З.И., Гусейнова Н.О., Раджабова Р.Т. Эколого-геохимическая оценка урбаноземов г. Каспия // Юг России: экология, развитие. 2012. N 4. С. 116–121.
- Шахтамиров И.Я., Исаева С.Х., Асхабова Х.Н., Шуаипов К.А.-В. Мониторинг стойких органических загрязнителей в почве Чеченской республики // Юг России: экология, развитие. 2012. N 4. С. 121–124.
- Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / Под ред. О.П. Мелиховой, Е.И. Егоровой. Москва: Академия, 2007. 288 с.
- Зыкова Ю.Н., Скугорева С.Г., Товстик Е.В., Ашихмина Т.Я. Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа // Теоретическая и прикладная экология. 2017. N 3. С. 38–46. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-038-046

10. Скугорева С.Г., Кутявина Т.И., Огородникова С.Ю., Кондакова Л.В., Симакова В.С., Блинова А.Л., Зыкова Ю.Н., Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв // Теоретическая и прикладная экология. 2019. N 3. С. 57–65. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-057-065
11. Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГУ, 2012. 282 с.
12. Ефремова В.А., Дабах Е.В., Кондакова Л.В. Химико-биологическая оценка состояния городских почв // Сибирский экологический журнал. 2013. N 5. С. 741–750.
13. Зыкова Ю.Н., Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Сравнительная характеристика поверхностных разрастаний микроорганизмов промышленной и парковой зон г. Кирова // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития», Киров, 1–2 декабря, 2009. Книга 2. С. 20–23.
14. Скугорева С.Г., Домрачева Л.И., Бушковская М.А., Трефилова Л.В. Оценка состояния почв г. Кирова методами химического анализа и биодиагностики // Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», Киров, 4–6 декабря, 2017. Книга 1. С. 119–124.
15. Nisbet I.C., La Goy P.K. Toxic equivalency factors views of Environmental Contamination and Toxicology. (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) // Regulatory Toxicology and Pharmacology. 1992. V. 16. Iss. 3. P. 290–300. DOI: 10.1016/0273-2300(92)90009-x
16. Отчет о научно-производственной деятельности ФГБУ ГЦАС «Кировский» за 2017 год. Киров: ФГБУ ГЦАС «Кировский», 2018. 149 с.
17. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. Москва: Агроконсалт, 2002. 282 с.
18. Дабах Е.В., Кислицына А.П., Домнина Е.А. Сравнительное изучение содержания микроэлементов в системе почва – растения луговых биоценозов // Теоретическая и прикладная экология. 2021. N 1. С. 139–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-139-146
19. Абдухалилов О.М., Скугорева С.Г., Фокина А.И., Кулаков В.Н. Оценка содержания свинца и полициклических ароматических углеводородов в образцах автомобильного топлива // Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», Киров, 16–18 ноября, 2020. С. 73–77.
20. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. Москва: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 86 с.
21. Абдухалилов О.М., Тизян Е.М., Скугорева С.Г. Оценка качества родниковой воды г. Кирова по химическому составу // Сборник материалов IV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Химические проблемы современности 2020», Донецк, 19–21 мая 2020. С. 32–35.
22. Абдухалилов О.М., Скугорева С.Г. Содержание полициклических ароматических углеводородов в почве вблизи ТЭЦ-5 города Кирова // Материалы докладов XXVI Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы), посвященной 75-летию А.И. Таскаева «Актуальные проблемы биологии и экологии», Сыктывкар, 18–22 марта, 2019. С. 73–76.
- migration, alternative energy]. Available at: <https://megatrends.su/blog/challenges-2050-accelerated-urbanization-completely/> (accessed 20.09.2021)
2. Korendyaseva E.V. *Ekologicheskiye aspekty upravleniya gorodom* [Environmental aspects of city management]. Moscow, 2017, 140 p. (In Russian)
3. Mudryy I.V. Influence of chemical contamination of soil on the health of the population. *Gigiyena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 2008, no. 4, pp. 32–37. (In Russian)
4. Abrosimova O.V., Troyanovskaya E.S., Merkulova M.Yu., Tikhomirova E.I. Assessment of the ecological state of the soil cover of the city of Saratov. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal* [Volga Ecological Journal]. 2012, no. 4, pp. 376–384. (In Russian)
5. Skugoreva S.G., Ashikhmina T.Ya., Fokina A.I., Lyalina E.I. Chemical foundations of the toxic action of heavy metals (review). *Theoretical and Applied Ecology*, 2016, no. 1, pp. 4–13. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2016-1-014-019
6. Soltanmuradova Z.I., Guseinova N.O., Radzhabova R.T. Ecologo-geochemical assessment of urban soils in the city of Kaspisk. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development]. 2012, no. 4, pp. 116–121. (In Russian)
7. Shaktamirov I.Ya., Isaeva S.Kh., Ashkhabova Kh.N., Shuaipov K.A.-V. Monitoring of persistent organic pollutants in the soil of the Chechen Republic. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development]. 2012, no. 4, pp. 121–124. (In Russian)
8. O.P. Melikhova, E.I. Egorova eds. *Biologicheskii kontrol' okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovaniye* [Biological control of the environment: bioindication and biotesting]. Moscow, Akademiya Publ., 2007, 288 p. (In Russian)
9. Zykova Yu.N., Skugoreva S.G., Tovstik E.V., Ashikhmina T.Ya. Approaches to assessing the state of urban soils by biotesting methods using organisms of various systematic affiliation and chemical analysis data. *Theoretical and Applied Ecology*, 2017, no. 3, pp. 38–46. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-038-046
10. Skugoreva S.G., Kutyavina T.I., Ogorodnikova S.Yu., Kondakova L.V., Simakova V.S., Blinova A.L., Zykova Yu.N., Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya. An integrated approach to assessing the ecological state of urban soils. *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no. 3, pp. 57–65. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-057-065
11. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva eds. *Osobennosti urboekosistem podzony yuzhnoy taygi Yevropeyskogo Severo-Vostoka* [Features of urban ecosystems of the southern taiga subzone of the European North-East]. Kirov, VSU Publ., 2012, 282 p. (In Russian)
12. Efreanova V.A., Dabakh E.V., Kondakova L.V. Chemical and biological assessment of the state of urban soils. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal* [Siberian Journal of Ecology]. 2013, no. 5, pp. 741–750. (In Russian)
13. Zykova Yu.N., Kondakova L.V., Domracheva L.I. Sravnitel'naya kharakteristika poverkhnostnykh razrastaniy mikroorganizmov promyshlennoy i parkovoy zon g. Kirova [Comparative characteristics of surface growths of microorganisms in industrial and park zones of the city of Kirov]. *Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy regional'noy ekologii v usloviyakh ustoychivogo razvitiya"*, Kirov, 1–2 dekabrya, 2009 [Materials of the VII All-Russian scientific-practical conference "Problems of Regional Ecology in Conditions of Sustainable Development", Kirov, 1–2 December, 2009]. Kirov, pt. 2, 2009, pp. 20–23. (In Russian)
14. Skugoreva S.G., Domracheva L.I., Bushkovskaya M.A., Trefilova L.V. Otsenka sostoyaniya pochv g. Kirova metodami khimicheskogo analiza i biodiagnostiki [Assessment of the state of soils in the city of Kirov by methods of chemical analysis and biodiagnostics]. *Materialy XV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii c mezhduнародnym ucha-stiyem «Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh i prirodno-*

## REFERENCES

1. Isakov D. *Vyzovy-2050: uskorennaya urbanizatsiya, sploshnaya tsifrovizatsiya, migratsiya, al'ternativnaya energiya* [Challenges-2050: accelerated urbanization, continuous digitalization,

tekhnogennykh sistem», Kirov, 4–6 dekabrya, 2017. [Materials of the XV All-Russian scientific-practical conference with international participation “Biodiagnostics of the State of Natural and Natural-technogenic Systems”, Kirov, 4–6 December, 2017.]. Kirov, pt. 1, 2017, pp. 119–124. (In Russian)

15. Nisbet I.C., La Goy P.K. Toxic equivalency factors views of Environmental Contamination and Toxicology. (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 1992, vol. 16, iss. 3, pp. 290–300. DOI: 10.1016/0273-2300(92)90009-x

16. *Otchet o nauchno-proizvodstvennoy deyatel'nosti FGBU GTSAS «Kirovskiy» za 2017 god* [Report on the research and production activities of the Federal State Budgetary Institution GCAC “Kirovskiy” for 2017]. Kirov: FGBU GTSAS «Kirovskiy», 2018, 149 p. (In Russian)

17. Ganzhara N.F., Borisov B.A., Baibekov R.F. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Workshop on soil science]. Moscow, Ahrokonsalt Publ., 2002, 282 p. (In Russian)

18. Dabakh E.V., Kisliysina A.P., Domnina E.A. Comparative study of the content of trace elements in the system soil – plants of meadow biocenoses. *Theoretical and Applied Ecology*, 2021, no. 1, pp. 139–146. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-139-146

19. Abdukhalilov O.M., Skugoreva S.G., Fokina A.I., Kulakov V.N. Otsenka soderzhaniya svintsa i politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v obraztsakh avtomobil'nogo topliva [Evaluation of the content of lead and polycyclic aromatic hydrocarbons in automotive fuel samples]. *Materialy XVIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii c mezhdunarodnym uchastiyem “Biodiagnostika sostoyaniya prirodnikh i prirodno-tekhnogennykh sistem”*, Kirov, 16–18

noyabrya, 2020 [Materials of the XVIII All-Russian scientific-practical conference with international participation “Biodiagnostics of the State of Natural and Natural-technogenic Systems”, Kirov, 16–18 November, 2020]. Kirov, 2020, pp. 73–77. (In Russian)

20. Vodyanitskiy Yu.N. *Tyazhelyye metally i metalloidy v pochvakh* [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow, Soil Institute V.V. Dokuchaeva RAAS Publ., 2008, 86 p. (In Russian)

21. Abdukhalilov O.M., Tizyan E.M., Skugoreva S.G. Otsenka kachestva rodnikovoy vody g. Kirova po khimicheskomu sostavu [Assessment of the quality of spring water in Kirov by chemical composition]. *Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh “Khimicheskiye problemy sovremennosti 2020”*, Donetsk, 19–21 maya, 2020 [Collection of materials of the IV International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists “Chemical Problems of Modernity 2020”], Donetsk, 19–21 May, 2020]. Donetsk, 2020, pp. 32–35. (In Russian)

22. Abdukhalilov O.M., Skugoreva S.G. Soderzhaniye politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v pochve vblizi TETS-5 goroda Kirova [The content of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil near the TPP-5 of the city of Kirov]. *Materialy dokladov XXVI Vserossiyskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii (s elementami nauchnoy shkoly), posvyashchennoy 75-letiyu A.I. Taskayeva*, Syktyvkar, 18–22 marta, 2019 [Materials of reports of the XXVI All-Russian youth scientific conference (with elements of a scientific school) dedicated to the 75th anniversary of A.I. Taskaeva “Actual Problems of Biology and Ecology”, Syktyvkar, 18–22 March, 2019]. Syktyvkar, 2019, pp. 73–76. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Светлана Г. Скугорева проводила анализ содержания неорганических ионов в почвенной вытяжке, осуществляла руководство экспериментальной работой, обобщение результатов. Людмила И. Домрачева выполняла работы по микробиологическому анализу почвенных образцов. Анна И. Фокина проводила отбор образцов почв, осуществляла их пробоподготовку к анализу. Татьяна И. Кутявина определяла токсичность почв с помощью методов биотестирования. Олим М. Абдухалилов участвовал в отборе образцов почв, определял содержание ПАУ в почвах. Василий Н. Кулаков проводил анализ валового содержания тяжелых металлов в почвах. Тамара Я. Ашихмина разработала концепцию и осуществляла общее руководство исследованием. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Svetlana G. Skugoreva analysed the content of inorganic ions in the soil extracts, supervised the experimental work and generalised the results. Lyudmila I. Domracheva performed work on the microbiological analysis of soil samples. Anna I. Fokina took soil samples and prepared them for analysis. Tatiana I. Kutyavina determined soil toxicity using biotesting methods. Olim M. Abdukhalilov took part in the selection of soil samples and determined the content of PAHs in soils. Vasily N. Kulakov analyzed the gross content of heavy metals in soils. Tamara Ya. Ashikhmina developed the concept and provided general guidance for the study. All authors contributed equally to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Светлана Г. Скугорева / Svetlana G. Skugoreva <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>  
Людмила И. Домрачева / Lyudmila I. Domracheva <https://orcid.org/0000-0002-7104-3337>  
Анна И. Фокина / Anna I. Fokina <https://orcid.org/0000-0001-8265-8882>  
Татьяна И. Кутявина / Tatiana I. Kutyavina <https://orcid.org/0000-0001-7957-0636>  
Олим М. Абдухалилов / Olim M. Abdukhalilov <https://orcid.org/0000-0001-9684-5267>  
Василий Н. Кулаков / Vasily N. Kulakov <https://orcid.org/0000-0001-5842-2829>  
Тамара Я. Ашихмина / Tamara Ya. Ashikhmina <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>