

Абакумов Е.В., Павлова Т.А., Динкелакер Н.В., Лемякина А.Э.

САНИТАРНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА КАМПУСА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Санкт-Петербург

Введение. Целью исследования была оценка загрязнения почвенного покрова кампуса СПбГУ. Для выполнения цели поставлены задачи, касающиеся определения содержания тяжёлых металлов в отобранных почвенных пробах и их сравнение с имеющимися нормативными документами, оценки базального дыхания почв и содержания гумуса.

Материал и методы. В 2016-2017 гг. проведены исследования по изучению состояния почв территорий кампуса СПбГУ. Исследования проведены в Василеостровском и Петродворцовом районах Санкт-Петербурга. Было отобрано 39 почвенных проб с глубины 0–30 см. Определяли содержание тяжёлых металлов (Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V) и мышьяка (As) и сравнивали с нормативами ПДК. Также были исследованы параметры биологической активности почвенных проб и содержание в них гумуса.

Результаты. Анализ содержания тяжёлых металлов в почвах и их сравнение с имеющимися ПДК приведены для проб почв с двух территорий кампуса СПбГУ.

Обсуждение. Исследование почвенных проб, характеризующих территории с различной функциональной нагрузкой, позволило выявить особенности загрязнения почв тяжёлыми металлами и мышьяком и сравнить эти территории между собой. Преобладающее большинство проб характеризуется превышением уровня ПДК по As, Zn, Ni, Cr. Для уточнения оценки уровней суммарного загрязнения почв Z_c при его расчётах был использован показатель $Z_{st}(g)$, учитывающий среднее геометрическое коэффициентов концентрации элементов и токсичность тяжёлых элементов.

Заключение. Пробы почв, отобранные в Василеостровском районе, характеризуются более высокой категорией загрязнения по показателям Z_c и $Z_{st}(g)$, чем почвы Петродворцового района. Для всех почвенных образцов значение индекса загрязнения почвы (ИЗП) более 1, что характеризует почвы как загрязнённые. Показатели микробиологической активности схожи у почв двух исследуемых территорий; содержания гумуса характеризуется как среднее также на обеих территориях кампуса.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; почвы Санкт-Петербурга; урбаноём; загрязнение почв.

Для цитирования: Соловьёв В.Ю., Дёмин В.Ф., Краснюк В.И. Алгоритм принятия решений по социальной и медицинской защите в чрезвычайной ситуации. Гигиена и санитария. 2019; 98 (1): 22-27.

Для корреспонденции: Абакумов Евгений Васильевич, доктор биол. наук, проф. каф. прикладной экологии биологического факультета СПбГУ. E-mail: e_abakumov@mail.ru, e.abakumov@spbu.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 15.02.2018

Принята к печати 18.10.2018

Abakumov E.V., Pavlova T.A., Dinkelaker N.V., Lemyakina A.E.

SANITARY EVALUATION OF SOIL COVER OF THE SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY CAMPUS

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

The aim of the study. To assess the contamination of the soil cover of the St. Petersburg State University campus. To accomplish the goal, tasks are set concerning the determination of the content of heavy metals in selected soil samples and their comparison with the available regulatory documents, estimates of the basal respiration of the soil and humus content.

Materials and methods. In 2016-2017 there were executed investigations on the study of the state of soils on the campus of the St. Petersburg State University. Studies were carried out in the Vasileostrovsky and Petrodvorets districts of the city of St. Petersburg. 39 soil samples were taken from a depth of 0-30 cm. The content values of heavy metals (Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V) and arsenic (As) were determined and compared with the available Maximum Allowable Concentrations (MAC) adopted in Russia. The biological activity of soil samples and the humus content were also investigated.

Results. Analysis of heavy metals in soils and their comparison with available MPCs are given for soil samples from two campus areas of the St. Petersburg State University.

Discussion. The investigation of soil samples of two different territories made it possible to identify the features of soil contamination with heavy metals and arsenic and to compare these areas with each other. The predominant majority of samples are characterized by exceeding the MAC limit for arsenic, zinc, nickel, chromium. To clarify the estimation of the levels of total contamination of soils, Z_c , also $Z_{st}(g)$ were used in these calculations. $Z_{st}(g)$ takes into account the geometric mean of the concentration coefficients of elements and the toxicity of heavy elements.

Conclusion. Samples of soils selected in the Vasileostrovsky district are characterized by a higher pollution category in terms of Z_c and $Z_{st}(g)$ than the soils of the Petrodvorets district. For all soil samples, the value of soil pollution index is more than 1, which characterizes the soils as contaminated. The indices of the microbiological

activity are similar in the soils of the two investigated areas; the humus content is characterized as an average also in both campus areas.

Key words: heavy metals; soils of Saint Petersburg; urban areas; soil contamination.

For citation: Abakumov E.V., Pavlova T.A., Dinkelaker N.V., Lemyakina A.E. Sanitary evaluation of soil cover of the Saint Petersburg State University Campus. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(1): 22-27. (In Russ.).

For correspondence: Evgeny V. Abakumov, MD, Ph.D., DSci., professor, Department of Applied Ecology, Biological Faculty, Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation. E-mail: e_abakumov@mail.ru

Information about authors:

Abakumov E.V., <http://orcid.org/0000-0002-5248-9018>; Pavlova T.A., <http://orcid.org/0000-0002-3356-7164>;

Dinkelaker N.V., <http://orcid.org/0000-0002-1821-0044>; Lemiakina A.E. <https://orcid.org/0000-0003-4266-1985>.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: 15 February 2018

Accepted: 18 October 2018

Введение

Педосфера городских экосистем накапливает в себе токсичные соединения и впоследствии является вторичным источником загрязнения природной среды [17, 19–21]. Одним из основных типов загрязнения почв является поступление тяжёлых металлов и металлоидов антропогенного происхождения, что в дальнейшем негативно влияет на здоровье человека [22–26]. Экологическая ситуация в Санкт-Петербурге в существенной степени определяется выбросами более 1000 предприятий, среди которых представлены крупнотоннажные ресурсо- и энергоёмкие экологически опасные производства, а также производства крупного железнодорожного узла, мощного автотранспортного парка [1, 2]. Санитарно-гигиеническое состояние почв Санкт-Петербурга исследовано неравномерно. Особенно слабо изучены химические параметры почв территорий образовательных учреждений города [3, 4]. Изучение санитарно-гигиенического состояния почв кампусов Санкт-Петербургского государственного университета является актуальной задачей в формировании концепции экологизированного менеджмента организации.

Естественные почвы Санкт-Петербурга в процессе развития города претерпели существенные изменения. В историческом центре города преобладают насыпные урбанозёмы, которые представляют систему стратифицированных гумусированных и минеральных горизонтов урботехногенного происхождения [2]. На этих почвах расположен Василеостровский кампус СПбГУ. В случае Петергофского кампуса доминируют урбоестественные почвы с сильно трансформированной верхней частью профиля.

Цель исследования – оценка загрязнения почвенного покрова кампуса СПбГУ. Для выполнения цели поставлены задачи, касающиеся определения содержания тяжёлых металлов в отобранных почвенных пробах и их сравнение с имеющимися нормативными документами, оценки базального дыхания почв и содержания гумуса.

Материал и методы

Исследование почв проводилось на двух территориях СПбГУ:

1) Петродворцовый учебно-научный комплекс (ПУНК), где расположены несколько факультетов СПбГУ и студенческий городок из десяти общежитий. Количество точек отбора проб – 20.

2) Территория в окрестностях здания Двенадцати коллегий (Главная часть Василеостровского кампуса (ВУНК)), включая Ботанический сад СПбГУ, основная и историческая часть Василеостровского кампуса СПбГУ (далее – Университетская набережная), расположенная в Василеостровском районе. Количество точек отбора проб – 19.

В связи с необходимостью согласования работ с менеджментом СПбГУ в области охраны природы пробы почв отбирались в ноябре 2016 года и апреле 2017 года.

Здание Двенадцати коллегий – одна из самых старых построек на Васильевском острове в Санкт-Петербурге (строительство началось в 1722 году). В настоящее время здесь находится управление СПбГУ и размещён ряд кафедр СПбГУ.

Учебно-научный комплекс СПбГУ в Старом Петергофе был построен во второй половине 70-х годов XX века. Здесь расположен Институт химии, физический и математико-механический факультеты и факультет прикладной математики и процессов управления.

В связи с этим в настоящем исследовании имеется возможность сравнения экологического состояния почв в центре города, подвергающихся антропогенному воздействию уже на протяжении трёх веков, и почв пригорода Санкт-Петербурга, которые испытывают усиленную техногенную нагрузку только в течение последних десятилетий, при этом необходимо учитывать своеобразные пространственной организации ландшафтов в Санкт-Петербурге [18].

Пробы почв для исследования были отобраны в ноябре 2016 и апреле 2017 г. с глубин 0–30 см. Отобранные пробы почв анализировались на содержание валовых форм тяжёлых металлов (*Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V*) и мышьяка (*As*) методом атомно-абсорбционной спектроскопии. В дальнейшем полученные значения сопоставляли с фоновыми концентрациями и предельно-допустимыми концентрациями (ПДК), указанными в МУ 2.1.7.730-99*.

Лабораторно-аналитические работы проводились в лаборатории кафедры прикладной экологии СПбГУ согласно ряду классических аналитических методов и подходов [6–16].

Для каждой пробы почв были рассчитаны индексы суммарного загрязнения почв (Z_c), индексы загрязнения почв (ИЗП). Оценка уровня загрязнения почв как индикаторов неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводилась по таким показателям, как коэффициент концентрации химического вещества (K_k) и Z_c , равный сумме коэффициентов концентраций химических элементов:

$$Z_c = \text{сумма } (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1),$$

где n – число определяемых суммируемых вещества; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

* МУ 2.1.7.730–99. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест. Методические указания (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7 февраля 1999 г.)

Таблица 1

Базальное дыхание почв (мг CO₂ на 100 г почвы в сутки)

Точка отбора пробы	ВУНК	ПУНК
1	214	142
2	176	117
3	138	152
4	163	93
5	203	220
6	157	122
7	214	161
8	176	117
9	145	117
10	195	122
11	113	147
12	145	137
13	145	132
14	101	127
15	82	137
16	113	88
17	126	94
18	101	138
19	126	151

Фоновые концентрации тяжёлых металлов в почвах Санкт-Петербурга указаны в «Пособии по вопросам изучения загрязнённых земель и их санации» [3].

При расчётах ИЗП используют нормативные лимитирующие показатели, в которых ИЗП является интегральным показателем ПДК и рассчитывается по формуле:

$$\text{ИЗП} = \sum_m^i (C_i / C_{\text{пдк}}) / n,$$

где $(C_i / C_{\text{пдк}})$ – отношение содержания вещества в точке отбора пробы к ПДК, n – количество определяемых ингредиентов.

По существу, ИЗП представляет собой интегральный уровень ПДК. Значения ИЗП > 1,0 диагностируют «загрязнённый» грунт, и чем эти значения выше, тем хуже состояние окружающей среды [4].

Также для каждой пробы был рассчитан комплексный показатель суммарного загрязнения (Zст(г)), учитывающий среднее геометрическое коэффициентов K_k и токсичность тяжёлых элементов [5]. Zст(г) рассчитывается по формуле:

$$\text{Zст(г)} = n \cdot [(K_{k1} \cdot K_{t1})(K_{k2} \cdot K_{t2}) \cdot \dots \cdot (K_{kn} \cdot K_{tn})]^{1/n} - (n-1),$$

где K_k – коэффициент концентрации химического вещества, K_t – коэффициент токсичности, n – количество определяемых ингредиентов.

Биологические свойства почв определяли в соответствии с общепринятыми методиками [6]. Определение содержания органического углерода для расчёта содержания гумуса в почве производилось по методу Тюрина [7].

Результаты

Данные о биологической активности почв приведены в табл. 1.

Данные о микробиологической активности почв, выраженной в параметрах базального дыхания почв, в среднем свидетельствуют о повышенной метаболической активности микробного сообщества почв в случае Ва-

Таблица 2

Содержание валовых форм тяжёлых металлов и мышьяка (в мг/кг) в почве на территориях кампуса СПбГУ

Точка отбора пробы	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	V	Zc
<i>Университетская набережная</i>									
1	160	32	265	52	24	0	65	42	60,0
2	34	12	125	0	13	0	58	39	18,7
3	119	25	183	26	17	0	62	29	40,6
4	24	8	40	0	14	0	53	15	11,9
5	207	43	253	60	30	0	107	784	82,5
6	188	37	323	75	28	5	75	44	77,2
7	254	49	544	99	26	0	72	47	100,9
8	777	129	673	360	29	2	0	0	238,7
9	187	36	428	51	40	11	90	60	80,1
10	269	44	1057	39	24	4	63	31	99,9
11	244	44	214	92	25	3	69	41	81,2
12	218	42	261	41	23	2	77	47	65,1
13	220	40	200	33	24	0	73	50	58,1
14	88	20	103	22	22	5	69	47	35,9
15	93	20	269	44	167	8	82	51	89,6
16	42	12	88	40	17	7	66	47	34,4
17	211	39	394	58	31	5	76	41	77,2
18	418	78	397	62	31	8	92	50	108,0
19	103	20	307	60	27	6	67	38	58,9
<i>ПУНК</i>									
1	67	15	150	21	14	4	63	36	31,0
2	34	12	125	0	13	0	58	39	18,7
3	34	8	58	10	9	0	76	25	19,0
4	24	8	40	0	14	0	53	15	11,9
5	18	8	84	8	8	0	49	18	14,2
6	23	9	35	0	8	1	47	7	9,8
7	19	8	29	0	7	1	50	0	9,1
8	27	10	42	13	10	0	61	138	18,6
9	231	39	762	99	41	8	85	62	112,3
10	32	9	50	0	15	0	64	45	15,4
11	18	9	63	2	14	3	58	28	15,4
12	32	11	66	12	22	3	69	65	24,4
13	28	10	57	29	21	5	75	72	30,2
14	7	10	92	1,6	189	0	83	63	64,3
15	269	10	69	1	18	5	67	71	26,9
16	42	11	93	15	19	8	75	58	28,1
17	53	25	161	29	24	0	82	0	43,5
18	26	11	86	2	23	0	85	53	24,0
19	36	11	46	21	10	0	62	57	21,8
20	28	10	110	34	15	17	67	56	33,7
ПДК	32	2	23	3	4	5	6	150	

силеостровского кампуса по сравнению с группой почв, отобранных на территории Петергофского кампуса. Это связано с разбалансированностью процессов трансформации органического вещества в более антропогенно-трансформированных почвах по сравнению с пригородными урбестообразными почвам Петергофа.

Анализ содержания тяжёлых металлов в почвах и их сравнение с имеющимися ПДК приведены для проб почв с двух территорий кампуса СПбГУ (табл. 2). В колонке таблицы «Точка отбора пробы» проставлены номера точек, с которых были отобраны пробы. На территории ПУНКА

точки 1–7 расположены рядом с общежитиями студенческого городка, точки 8–20 – рядом с учебными корпусами СПбГУ (Институт химии, физический факультет, факультет прикладной математики и процессов управления, математико-механический факультет). На Университетской набережной точки 4–7 находятся в пределах Ботанического сада СПбГУ, точки 11–16 – вдоль главного фасада здания Двенадцати коллегий, остальные 9 точек расположены со стороны западного фасада здания и между другими корпусами СПбГУ.

Обсуждение

Микробиологическая активность почвы была выше для наиболее антропогенно-трансформированных почв, что свидетельствует о разбалансированности параметров процессов трансформации органического вещества почв в условиях повышенного загрязнения. Эти данные подтверждаются результатами изучения инициальных стадий педогенеза в демутиационных сменах [8].

Для свинца обнаружено превышение ПДК почти во всех пробах, отобранных на Университетской набережной и в половине проб из ПУНКа. Содержание мышьяка, цинка и никеля превышает ПДК во всех взятых пробах. Для меди превышение обнаружено в большинстве проб, взятых с Университетской набережной, и в 11 пробах из ПУНКа. Для хрома превышение ПДК характерно для всех проб, за исключением одной, взятой на Университетской набережной. Загрязнение хромом сильно влияет на биологическую активность почвы. За счёт уменьшения выделения энергии при ухудшении почвенного дыхания тормозятся важные биохимические процессы [8]. Ранее было отмечено крайне токсичное действие хрома для биоты чернозёма [9], что подтверждает выявленные нами закономерности.

Небольшое превышение ПДК по кобальту наблюдается в меньшей половине проб. Для ванадия превышение найдено только в одной пробе на Университетской набережной.

Анализ данных по суммарному индексу загрязнения Z_c (арифметическая сумма) показал, что в большинстве проб на Университетской набережной загрязнение по степени опасности характеризуется как опасное ($32 < Z_c < 128$). Из проб, отобранных с территории ПУНКа, только одна проба характеризуется опасной категорией загрязнения, в 14 пробах категория загрязнения характеризуется как допустимая ($Z_c < 16$), для остальных пяти проб категория загрязнения – умеренно опасная ($16 < Z_c < 32$). В случае использования комплексного показателя суммарного загрязнения почв, учитывающего среднее геометрическое коэффициентов концентрации и токсичность тяжёлых элементов, результаты изменяются незначительно. Приведённые данные согласуются с ранее полученными результатами для почв различных урбанизированных территорий [27–31], карьерно-отвальных комплексов, ассоциированных с городскими поселениями и смежных с урбанизированными территориями экосистем [32–37].

Расчёты ИЗП показали, что все почвенные пробы обладают показателями ИЗП > 1 , что характеризует почвы как загрязнённые. В среднем этот показатель выше в пробах, отобранных на Университетской набережной.

Скорость продуцирования углекислоты почвой – базальное дыхание – один из важных показателей состояния микробиоценозов почв, который в будущем может быть использован для верификации показателей ПДК для городских почв, в частности для гармонизации общесанитарного показателя вредности в условиях полихимического загрязнения. Согласно проведённой оценке

микробиологической активности почв кампуса СПбГУ, показатель эмиссии углекислого газа на территории Университетской набережной варьируется от 88 до 220 мг CO_2 на 100 г почвы/сут., а у проб, отобранных в ПУНКе – от 82 до 214 мг CO_2 на 100 г почвы/сут. Почвы урбоземосистемы способны в среднем к большему микробному дыханию, чем, например, пахотные. Можно полагать, что газопродукционная активность (эмиссия CO_2) городских ареалов будет сопоставима с таковой для почв естественных экосистем [10].

Содержание органического углерода в пробах с территории Университетской набережной варьирует от 0,79 до 5,45% (от 1,36 до 9,4% в пересчёте на гумус – от очень низкого до высокого уровня [11]). Среднее содержание гумуса составляет 5,17%, что является средним уровнем. В пробах с территории ПУНКа разброс содержания углерода больше – от 0,2 до 6,18% – от очень низкого до очень высокого уровня содержания гумуса. Среднее содержание гумуса в этих пробах составило 5,46%, что также соответствует среднему уровню гумусности.

Заключение

В результате проведённых исследований определено содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах двух территорий кампуса СПбГУ. Для обеих территорий характерно повышенное содержание мышьяка, цинка, никеля, хрома. Превышение ПДК для свинца и меди более характерно для проб, отобранных на Университетской набережной.

Большинство проб, отобранных на Университетской набережной, по степени опасности характеризуется суммарным уровнем загрязнения $32 < Z_c < 128$ (опасное загрязнение). На территории ПУНКа преобладающая категория загрязнения – допустимая ($Z_c < 16$). При использовании комплексного показателя суммарного загрязнения почв результаты практически не изменяются.

Все почвенные пробы обладают показателями ИЗП > 1 (загрязнённые почвы). Для почв, отобранных на Университетской набережной, этот показатель в среднем выше.

Показатели микробиологической активности схожи у почв двух исследуемых территорий; содержание гумуса характеризуется как среднее также на обеих территориях кампуса.

Таким образом, для почвенного покрова на Университетской набережной более характерно превышение валового содержания тяжёлых металлов, и уровень загрязнения выше, чем для почвенного покрова в ПУНКе. Причина этого вероятно в том, что на почвы исторической части Санкт-Петербурга оказывается антропогенное воздействие в течение гораздо большего временного периода – около трёхсот лет. Рост жилищного и промышленного строительства, возрастающее количество автомобильного транспорта приводят к усилению комплексного техногенного воздействия на Санкт-Петербург. Загрязнение характерно для территорий крупных городов, где происходит максимальное накопление технофильных элементов и токсичных органических соединений, замыкание техногенных циклов миграции химических веществ.

Основными источниками токсических элементов в городах являются энергетические и промышленные предприятия, жилищно-коммунальное хозяйство, автотранспорт. Исследования, проведённые в различных городах, связывают повышенное загрязнение почвенного покрова тяжёлыми металлами с большим количеством работающих промышленных предприятий и высокой степенью транспортной нагрузки. Для тяжёлых металлов характерна стабильность в окружающей среде, а также высокая способность к биоаккумуляции.

Состояние почв Василеостровского кампуса СПбГУ вызывает озабоченность, в связи с чем предлагается организация мониторинга почвенно-экологического состояния территории и обсуждение возможных мероприятий по рекультивации нарушенных и загрязнённых почв.

С учетом того, что изученные загрязнённые почвы находятся на территории образовательного учреждения, рекомендуется проработка вопросов их возможной ремедиации или оптимизации санитарно-химического состояния. В качестве возможных мероприятий по улучшению качеств почв можно рекомендовать внесение органических полисорбентов на основе гуминовых веществ, а также сохранение органического опада подстилки, который ежегодно убирается с поверхности почв. Это будет способствовать повышению гумусированности верхних, наиболее загрязнённых горизонтов и восстановлению баланса гумуса в мелколёме. С учётом того, что ПДК для некоторых тяжёлых металлов в почвах Васильевского Острова превышены в десятки раз, состояние почвенного покрова в Василеостровском кампусе СПбГУ следует признать удовлетворительным.

Литература

(п.п. 26–37 см. в References)

1. Лодыгин Е.Д., Чуков С.Н., Безносиков В.А., Габов Д.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Васильевского острова (Санкт-Петербург). *Почвоведение*. 2008. МАИК «Наука/Интерпериодика», Москва: 1494-500.
2. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В., Абакумов Е.В. Физико-химическая характеристика урбаноземов Центрального района Санкт-Петербурга. *Вестник СПбГУ*. Сер. 7. 2011; 4: 85 - 97.
3. Сорокин Н.Д., Королева Е.Б., Лосева Е.В., Осинцева Н.В. Пособие по вопросам изучения загрязнённых земель и их санации. СПб., 2012. 119 с.
4. Богданов Н.А. Диагностика территорий по интегральным показателям химического загрязнения почв и грунтов. *Гигиена и санитария*, 2014; 1: 92-7
5. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжёлыми металлами и металлоидами. *Почвоведение*, 2010; 10: 1276 –80.
6. Федорова Н.Н. *Методические указания к курсу «Биологические методы исследования почв»*. СПб., 2004. 8 с.
7. Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. Химический анализ почв: Учеб. Пособие. СПб., Издательство Санкт-Петербургского университета. 1995. 264 с.
8. Евреинова А.В., Попович А.А., Колесников С.И. Использование показателей биологической активности для мониторинга и диагностики загрязнения почв тяжёлыми металлами II класса опасности. Современные проблемы загрязнения почв. Межд. конф. М., 2004: 207–8.
9. Колесников С.И. Ранжирование химических элементов по степени их экологической опасности. Современные проблемы загрязнения почв. III Межд. конф. М., 2010: 362–5.
10. Иващенко К.В., Ананьева Н.Д., Васенев В.И., Кудяров В.Н., Валентини Р. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-изменённых экосистемах. *Почвоведение*. 2014 (9): 1077–88.
11. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв. *Проблемы почвоведения*. М.: Наука, 1978. С. 42–7.
12. Виноградова С.С. Буферная ёмкость почв как их способность к подщелачиванию. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2013(1): 102–9.
13. Герасимова М.И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учебное пособие. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Под ред. акад. РАН Добровольского Г.В. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
14. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв. *Проблемы почвоведения*. М.: Наука, 1978. С. 42–7.
15. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. Особенности инженерно-экологических условий Санкт-Петербурга. *Развитие городов и геотехническое строительство*. 2011; 1.
16. Дымов А.А., Каверин Д.А., Габов Д.Н. Свойства почв и почвоподобных тел г. Воркута. *Почвоведение*. 2013; 2: 240-8.
17. Исаченко Г.А., Резников А.И. Ландшафты Санкт-Петербурга: эволюция, динамика, разнообразие. *Биосфера*. 2014; 6 (3).
18. Капелькина Л.П. Загрязняющие вещества в почвах мегаполисов. Проблемы и парадоксы нормирования. *Экология урбанизированных территорий*. 2010; 3: 13.
19. Когут М.Б., Шульц Э., Галактионов А.Ю., Титова Н.А. Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов в гранулоденсиметрических фракциях почв парков Москвы. *Почвоведение*. 2006; 10: 1182-89.
20. Колесников С.И. Ранжирование химических элементов по степени их экологической опасности. *Современные проблемы загрязнения почв. III Межд. конф.* М., 2010: 362–5.
21. Коновалов А.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Фурсова П.В. Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв. *Биосфера*. 2017; 9 (3).
22. Лим Т.Е. Влияние транспортных загрязнений на здоровье человека. *Экология человека*. 2010; 1: 25-28.
23. Никитина А.В., Жаткина Т.С., Курбатова А.И. Некоторые аспекты нормирования загрязняющих веществ в почве. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2013; 5: 86-91.
24. Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. *Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы)*. М.: Издательство МГУ, 2008. 360 с.
25. Уфимцева М.Д. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. СПб.: Наука, 2005. 339 с.

References

1. Lodygin E.D., Chukov S.N., Beznosikov V.A., Gabov D.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the soils of the Vasilievsky Island (St. Petersburg). *Pochvovedenie*. MAIK "Nauka/Interperiodika". Moscow, 2008, 1494-500. (in Russian)
2. Ufimtseva M.D., Terekhina N.V., Abakumov E.V. Physico-chemical characteristic of urban areas of the Central District of St. Petersburg. *Vestnik SPbGU*. Ser. 7. 2011; 4: 85 – 97. (in Russian)
3. Sorokin N. D., Koroleva E. B., Loseva E. V., Osintseva N. V. Manual on the study of contaminated land and their sanitation. St. Petersburg, 2012. 119 (in Russian)
4. Bogdanov N.A. Diagnosis of the territories with the use of integral indices of chemical contamination of soil and grounds, relied on the background and hygienic standards. *Gigiena i sanitariya*, 2014; 1: 92-7 (in Russian)
5. Vodyanitskii Y.N. Equations for assessing the total contamination of soils with heavy metals and metalloids. *Eurasian Soil Science*. 2010; 43 (10): 1184-8 (in Russian)
6. Fedorova N.N. Methodical instructions to the course "Biological Methods of Soil Research". St. Petersburg, 2004. (in Russian)
7. Rastvorova O.G., Andreev D.P., Gagarina E.I., Kasatkina G.A., Fedorova N.N. Chemical analysis of soils: a textbook. St. Petersburg, Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo universiteta. 1995. 264 p. (in Russian)
8. Evreinova A.V., Popovich A.A., Kolesnikov S.I. Use of indicators of biological activity for monitoring and diagnostic of soil contamination by heavy metals of II hazard class. *Sovremennye problemy zagryazneniya pochv. Mezhdunarodnaya konferentsiya*. Moscow, 2004. (in Russian)
9. Kolesnikov S.I. Ranking of chemical elements according to the degree of their ecological danger. *Sovremennye problemy zagryazneniya pochv. III Mezhdunarodnaya konferentsiya* Moscow, 2010 (in Russian)
10. Ivashchenko K.V., Ananeva N.D., Vasenev V.I., Kudyarov V.N., Valentin R. Biomass and respiratory activity of soil microorganisms in anthropogenically-altered ecosystems. *Pochvovedenie*, 2014; 9: 1077–88. (in Russian)
11. Grishina L.A., Orlov D.S. System of indicators of humus content of soils. *Problemy pochvovedeniya*. Moscow: Nauka, 1978. 42–7. (in Russian)

12. Vinogradova S.S. Buffer capacity of soils as their ability to alkalize. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*. 2013; 1: 102–9. (in Russian)
13. Gerasimova M.I. Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation: textbook. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokof'eva T.V. Red. G.V. Dobrovol'skiy. Smolensk: Ojkumena, 2003. 268 p. (in Russian)
14. Grishina L.A., Orlov D.S. The system of indicators of the humus state of soils. *Problemy pochvovedeniya*. M.: Nauka, 1978, 42–7. (in Russian)
15. Dashko R.E., Aleksandrova O.Y., Kotyukov P.V., Shidlovskaya A.V. Features of engineering and environmental conditions of St. Petersburg. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2011; 1 (in Russian)
16. Dymov A.A., Kaverin D.A., Gabov D.N. Properties of soils and soil-like bodies of Vorkuta. *Pochvovedenie*, 2013; 2: 240-8 (in Russian)
17. Isachenko G.A., Reznikov A.I. Landscapes of St. Petersburg: evolution, dynamics, diversity. *Biosfera*. 2014; 6 (3) (in Russian)
18. Kapel'kina L.P. Pollutants in soils of megacities. The problems and paradoxes of rationing. *Ehkologiya urbanizirovannyh territorij*. 2010; 3: 13-9 (in Russian)
19. Kogut M.B., Shul'c E., Galaktionov A.Y., Titova N.A. The content and composition of polycyclic aromatic hydrocarbons in granulodensimetric fractions of soils in Moscow parks. *Pochvovedenie*. 2006; 10: 1182-9 (in Russian)
20. Kolesnikov S.I. Ranking of chemical elements according to the degree of their ecological danger. *Sovremennye problemy zagryazneniya pochv. III Mezhd. konf.* M., 2010: 362–5 (in Russian)
21. Konovalov A.G., Risnik D.V., Levich A.P., Fursova P.V. Review of approaches to environmental assessment and regulation of soil quality. *Biosfera*. 2017; 9 (3) (in Russian)
22. Lim T.E. Influence of transport pollution on human health. *Ehkologiya cheloveka*. 2010; 1: 25-28 (in Russian)
23. Nikitina A.V., Zhatkina T.S., Kurbatova A.I. Some aspects of rationing of pollutants in soil. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ehkologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2013; 5: 86-91 (in Russian)
24. Smagin A.V., Shoba S.A., Makarov O.A. *Ecological assessment of soil resources and technologies for their reproduction (by the example of Moscow)*. M.: Izdatel'stvo MGU, 2008. 360 p. (in Russian)
25. Ufimceva M.D. Phytoindication of the ecological state of urban geosystems in St. Petersburg. Ufimceva M.D., Terekhina N.V. SPb.: Nauka, 2005. 339 p. (in Russian)
26. Jackson R. E. et al. Contaminant Hydrogeology of Toxic Organic Contaminants at a Disposal Site, Gloucester, Ontario. 1. Chemical Concepts and Site Assessment, Ottawa, Ontario IWD Scientific Series. 1985; 141.
27. Alekseev, I., Abakumov, E., Petrova, A., Vorona-Slivinskaya, L. Evaluation of the Ecotoxicological State of Selected Soils from Urban Environments of Russian Arctic with the Aim to Substantiate Reclamation and Restoration Strategies. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 170, article No 04001.
28. Shamilishvily, G., Abakumov, E., Gabov, D. Polycyclic aromatic hydrocarbon in urban soils of an Eastern European megalopolis: Distribution, source identification and cancer risk evaluation. *Solid Earth*. 2018; 9 (3): 669-82.
29. Shamilishvili, G.A., Abakumov, E.V., Gabov, D.N., Alekseev, I.I. Features of fractional composition of polycyclic aromatic hydrocarbons and multielement contamination of soils of urban territories and their hygienic characteristics (on the example of soils of functional zones of Saint-Petersburg). *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95 (9): 827-37.
30. Abakumov, E.V., Suyundukov, Ya.T., Pigareva, T.A., Semenova, I.N., Khasanova, R.F., Biktimerova, G.Ya., Rafikova, Yu.S., Ilbulova, G.R. Biological and sanitary evaluation of sibaisky quarry dumps of the bashkortostan republic. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95 (10): 929-34.
31. Abakumov, E.V., Suyundukov, Ya.T., Biktimerova, G.Ya., Pigareva, T.A. Ecological and sanitary characteristics of the copper pyrite quarry (Baymak Region, The Republic of Bashkortostan). *Gigiena i Sanitariya*. 2015; 94 (6): 46-50
32. Vandermeulen J. H. PAH and heavy metal pollution of the Sydney Estuary: Summary and review of studies to 1987. *Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences*. 1989: 108.
33. Walker T.R. Comparison of anthropogenic metal deposition rates with excess soil loading from coal, oil and gas industries in the Usa River Basin, NW Russia. *Polish Polar Research*. 2005; 35 (4): 259–74.
34. Wakeham S. G., Schaffner C., Giger W. Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lake sediments—I. Compounds having anthropogenic origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1980; 44 (3): 403-13.
35. Wan M. T. Railway right-of-way contaminants in the lower mainland of British Columbia: Polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of environmental quality*. 1991; 20 (1): 228-34.