



Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга

М.А.ПАШКЕВИЧ¹, Дж.БЕК², В.А.МАТВЕЕВА¹, А.В.АЛЕКСЕЕНКО¹✉

¹Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Университет Барселоны, Барселона, Испания

Почвы и растения Санкт-Петербурга испытывают техногенную нагрузку, связанную с деятельностью человека в промышленных, селитебных и рекреационных зонах города. Для оценки трансформации урбанизованных различных функциональных зон в течение летних полевых сезонов 2016-2018 гг. были изучены индустриальные, жилые и парковые территории суммарной площадью свыше 7000 га, находящиеся в южной ландшафтной зоне города. В период полевых работ было отобрано 796 пар проб почвы и растений.

Проведенный комплекс полевых и лабораторных исследований позволил охарактеризовать ключевые биогеохимические особенности ландшафтов, различающихся по функциональному использованию. По результатам химико-аналитических работ, выполненных в аккредитованной лаборатории, были получены сведения о концентрациях загрязняющих металлов в почвенно-растительном покрове.

Интерпретация данных и расчет коэффициентов накопления элементов выявили районы с наиболее неблагоприятной экологической обстановкой. Установлено, что загрязнение окружающей среды в южных районах города привело к значительной степени физической, химической и биологической деградации почвенно-растительного покрова. В настоящее время около 10 % почв данной территории полностью утратили способность к биологическому самоочищению, что привело к нарушению их экологических функций и острой необходимости проведения рекультивационных работ.

Ключевые слова: биогеохимические циклы; взаимодействие почва-растение; городские экосистемы; качество окружающей среды; экология города; городское зонирование

Как цитировать эту статью: Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга / М.А.Пашкевич, Дж.Бек, В.А.Матвеева, А.В.Алексеенко // Записки Горного института. 2020. Т. 241. С. 125-130. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.125

Введение. Исследование почвенно-растительного покрова урбанизированных территорий имеет важнейшее значение для оценки экологического состояния городской среды [4, 7, 9, 12, 21, 44, 45, 47]. Благодаря своим физико-химическим свойствам почва в черте города аккумулирует широкий спектр загрязняющих веществ, становясь одним из ключевых биогеохимических барьеров для большинства поллютантов на пути их миграции из атмосферы в грунтовые и поверхностные воды [3, 14, 24, 51]. Почвы и растения являются интегральным показателем экологического благополучия и одновременно потенциальным источником вторичного загрязнения природной среды [5, 15, 27, 34, 39, 46].

На большей части урбанизированных территорий в процессах почвообразования преобладают техногенные факторы, которые приводят к формированию специфического типа почв – урбанизованных, зачастую характеризующихся высоким уровнем загрязнения [8, 11, 17, 18]. Как следствие, при максимальном проявлении процессов химического загрязнения почва полностью утрачивает способность к продуктивности и биологическому самоочищению, что неизбежно приводит к нарушению ее экологических функций [13, 29, 48, 50, 52].

В большинстве городских почв отсутствуют в требуемом количестве макро- и микрокомпоненты для нормальной жизнедеятельности растений [10, 19, 31, 33, 49, 50]. При этом количество накопленных загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, ежегодно увеличивается [2, 6, 16, 22, 23, 35]. Основными источниками загрязнения почв являются выбросы в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортом, объектами энергетики и промышленными предприятиями, а также противогололедное покрытие автодорог в зимний период. Металлы сравнительно быстро накапливаются в почве и крайне медленно из нее выводятся, что связано с биогеохимическими барьерами в почвенном покрове [13, 25, 30, 36].

В последние годы во всем мире все большее внимание уделяется оценке качества почв не только по причине сложившейся экологической ситуации, но и для принятия решений о возможности размещения промышленных и культурно-массовых объектов [20, 26, 32, 40, 42, 48, 53].



Постановка проблемы. Проблема деградации почвенно-растительного покрова не обошла стороной и Санкт-Петербург – город с многолетней историей развития многопрофильной промышленности, научными учреждениями и центрами.

Для улучшения экологической ситуации в Санкт-Петербурге в последние годы существенно увеличился объем посадок молодых деревьев высокого качества из различных питомников. Тем не менее, значительная доля саженцев погибает. Основной причиной усыхания молодых деревьев являются неблагоприятные почвенные условия и отравление противогололедными реагентами вблизи автомагистралей.

На сегодняшний день в управлении садово-паркового хозяйства Санкт-Петербурга находятся 10 тыс. га земель общего пользования, из них 3 тыс. га – городские леса, 7 тыс. – урбанизированные земли, нуждающиеся в рекультивации. Периодические мониторинговые наблюдения на постоянных пробных площадках проводятся на 100 пунктах, что соответствует не более чем 8 % от общей площади контролируемых хозяйством территорий.

Таким образом, актуальность работы, связанная с проведением комплексной экологогеохимической оценки качества почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных ландшафтах, не вызывает сомнений.

Методы и материалы исследования. Реализация работы, целью которой стала оценка степени техногенной нагрузки на почву различных ландшафтно-функциональных зон Санкт-Петербурга, проводилась авторами статьи в полевые сезоны 2016-2018 гг. В качестве объекта изучения были выбраны индустриальные, жилые и парковые территории, находящиеся в Московском административном районе Санкт-Петербурга, расположенному на юго-западе города и занимающем площадь свыше 7000 га.

Методика исследования почв включала в себя несколько этапов:

- рекогносцировка исследуемого района и составление карты-схемы планируемого отбора проб почвы;
- отбор образцов и пробоподготовка в полевых условиях;
- пробоподготовка отобранных образцов в лабораторных условиях;
- химический анализ почв методами атомно-абсорбционной и рентгенфлуоресцентной спектроскопии с последующей интерпретацией полученных данных.

В ходе рекогносцировочных работ установлено, что к потенциальным источникам загрязнения относятся предприятия, формирующие Южную промышленную зону, простирающуюся от Обводного канала до Кузнецовой улицы, несанкционированные свалки на пустырях вдоль железной дороги, авто- и железнодорожный транспорт. Стоит отметить, что основная автотранспортная нагрузка связана с активным функционированием на территории рассматриваемого района двух крупных дорожных артерий – Московского и Киевского шоссе.

Отбор проб почвы проводился в соответствии с ГОСТ Р 53123-2008 (ИСО 10381-5:2005) «Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы». В целях исключения случайных ошибок, связанных с определением недостоверных значений, отбор проб с поверхности проводился методом «конверта» с площадок размером 2×2 м. В общей сложности, в период полевых работ было отобрано 796 проб, которые охватили 70 % территории Московского района. Из них в рекреационной зоне было отобрано 18 % проб, в селитебной зоне – 50 % и в промышленной зоне – 32 %. Объединенные пробы почвы доставлялись в Центр коллективного пользования Горного университета, где подвергались высушиванию до воздушно-сухого состояния, тщательному перемешиванию и квартованию до получения однородной пробы массой 500 г. Дальнейшая пробоподготовка образцов проводилась в соответствии с аттестованными методиками количественного химического анализа. Перед проведением химического анализа из каждой пробы были отобраны навески для измерения влажности с использованием влагомера MS-70 фирмы AND.

В ходе мониторинговых лихихимических исследований наибольшее внимание уделялось группе неорганических токсикантов, среди которых особое место заняли тяжелые металлы, которые относятся к числу потенциально опасных при высоких концентрациях.

Для оценки специфики антропогенного воздействия проводилась биогеохимическая оценка аккумуляции тяжелых металлов растительным покровом. В целом, растительность отражает совокупное воздействие источников загрязнения природной среды, поскольку одна часть поллю-



тантов поступает в растение с корневым поглощением, а вторая – через аэральную составляющую растений [37, 41, 50]. Для оценки экологического состояния рассматриваемой территории отбирались пробы разнотравья. Места отбора проб растительности соответствовали точкам отбора проб почвенного покрова. Масса объединенной биогеохимической пробы составляла не менее 200 г сырого вещества. Каждая пробы была промаркирована и помещена в специальный мешочек для транспортировки в лабораторию и последующего анализа. Пробоподготовка отобранных образцов растительности заключалась в последовательном выполнении следующих операций: высушивание, измельчение, озоление, растворение в смеси кислот.

Анализ полученных растворов проводился методом атомной абсорбции с пламенной и электротермической атомизацией на спектрометре AA-7000 фирмы Shimadzu.

Результаты и их обсуждение. В результате обследования техногенных почв промышленных, селитебных и рекреационных зон Московского района установлено, что среди тяжелых металлов к приоритетным загрязняющим веществам относятся свинец, кадмий и цинк. В таблице показано распределение металлов по группам в зависимости от концентраций. Данные металлы были особо отмечены при исследовании общих закономерностей миграции и концентрации химических элементов в селитебных ландшафтах [1]. Связано это, во-первых, с тем, что их геохимические циклы в значительной степени трансформированы под комплексным техногенным воздействием на городские почвы. Во-вторых, свинец, кадмий и цинк представляют возможную угрозу для здоровья населения урбанизированных территорий, поскольку именно там поступление загрязняющих элементов в организм человека происходит наиболее интенсивно [28, 29, 32].

Распределение проб по группам в зависимости от содержания наиболее распространенных потенциально опасных тяжелых металлов на исследуемой территории

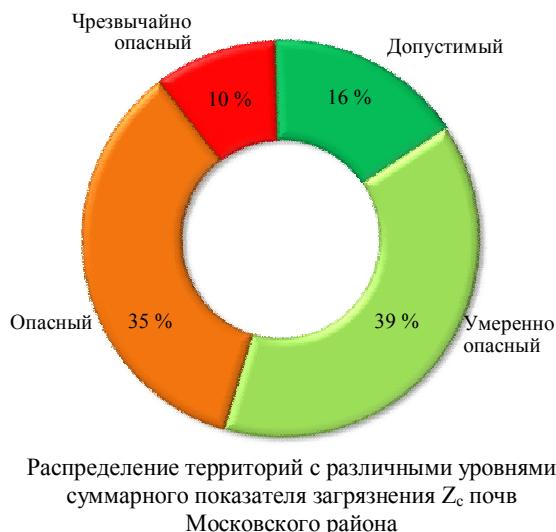
Элемент	<ПДК		1-2 ПДК		2-5 ПДК		>5 ПДК	
	Количество проб	%						
Промышленная зона								
Pb	48	6	120	15	310	39	318	40
Cd	135	17	120	15	247	31	294	37
Zn	87	11	191	24	231	29	287	36
Селитебная зона								
Pb	112	14	294	37	318	40	72	9
Cd	446	56	215	27	95	12	40	5
Zn	191	24	334	42	143	18	128	16
Рекреационная зона								
Pb	334	42	223	28	191	24	48	6
Cd	597	75	111	14	88	11	–	–
Zn	334	42	271	34	119	15	72	9

Для оценки однородности площадного распределения исследуемых металлов в почве был произведен расчет коэффициента вариации исследуемых химических элементов по отдельным функциональным зонам, %:

Элемент	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	As	Hg
Функциональная зона							
Селитебная	81	77	54	51	74	90	215
Промышленная	105	99	125	92	64	91	240
Рекреационная	74	76	47	53	66	76	170

Результаты анализа коэффициентов вариации показали, что распределение исследуемых химических элементов в почве крайне неоднородно, следовательно, основной вклад в загрязнение вносят локальные источники техногенного воздействия, не оказывающие воздействие на весь район в целом.

Наряду с оценкой каждого исследуемого химического элемента в отдельности проводился анализ распределения ассоциаций химических элементов [1, 38, 43, 52]. Под ассоциацией химических элементов следует понимать группу элементов, обнаруживаемую в изучаемом объекте, в



к концентрации в почве. Так, в случае активной работы барьерных функций значение коэффициента не превышает 1. При беспрепятственном поступлении ионов металлов в органы растений коэффициент больше или равен 1. Ниже приведены значения коэффициентов биологического накопления приоритетных загрязняющих веществ для изученных образцов растений:

Элемент	Pb	Ni	Cr	Mo	Cu	Mn	Co	Fe
Коэффициент								
Максимальный	0,62	3,53	0,54	15,95	16,89	7,95	3,54	0,75
Минимальный	0,36	0,70	0,26	2,47	7,43	1,20	0,25	0,20
Средний	0,50	2,01	0,37	7,82	10,74	3,14	1,51	0,36

Из значений коэффициентов биологического поглощения видно, что наибольшую склонность к накоплению в растительном покрове проявили Cu, Mo, Mn и Ni.

Заключение. Проведенные лито- и биогеохимические исследования показали, что на сегодняшний день почвенный покров Московского района Санкт-Петербурга испытывает колоссальную техногенную нагрузку. Наиболее неблагоприятная экологическая обстановка наблюдается в северной части района. Наличие многочисленных источников вредных выбросов в окружающую среду в сочетании с транспортной загруженностью создают потенциальную угрозу не только окружающей природной среде, но и населению города. К числу приоритетных загрязнителей городской среды относятся автотранспорт, предприятия топливно-энергетического комплекса, а также химической промышленности. Учитывая преобладающие направления ветров, видно, что загрязненные воздушные потоки поступают на территорию рассматриваемого района из промышленно развитого Кировского района и предприятий, расположенных на северо-западе Адмиралтейского района.

Под прессом техногенного воздействия произошла значительная трансформация физических, химических и биологических характеристик почвенно-растительного покрова Московского района. Как показало проведенное исследование, не менее 10 % от общей площади почвенного покрова данной территории полностью утратили способность к биологическому самоочищению, что привело к нарушению экологических функций и острой необходимости проведения работ по рекультивации и ремедиации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов / В.А.Алексеенко, А.В.Алексеенко. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. 388 с.
2. Влияние загрязнения висмутом на фитотоксичность почв юга России / Л.В.Судынина, Н.И.Цепина, Т.В.Минникова, С.И.Колесников // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И.Вернадского. Биология. Химия. 2019. Т. 5 (71). № 3. С. 110-121.
3. Воробьева К.Ю. Особенности загрязнения свинцом почв объектов гражданского строительства Самарской области // Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование: Труды шестой международной научно-практической конференции. М.: Буки-Веди, 2018. С. 281-286.



4. Гоголина Н.Е. Эколого-геохимический анализ селитебных ландшафтов г. Перми // Антропогенная трансформация природной среды. 2011. № 1. С. 163-167.
5. Гончаров Е.А. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова городских ландшафтов / Е.А.Гончаров, Д.И.Пигалин, Н.Г.Шурков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1 (25). С. 87-97.
6. Егорова С.А. Роль почвы в формировании здоровья городского населения // Вестник современных исследований. 2018. № 8.3 (23). С. 39-41.
7. Жарикова Е.А. Особенности агрохимических свойств и элементного состава почв урбанизированных ландшафтов (на примере г. Уссурийска) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (173). С. 71-78.
8. Жарикова Е.А. Слабоизученные потенциально опасные химические элементы в почвах урбанизированных территорий юга Приморья // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2018. № 4 (200). С. 105-112.
9. Зубков В.А. Содержание тяжелых металлов в почвах промышленных городов Свердловской области / В.А.Зубков, А.В.Тришевская, Е.А.Малкова, Е.В.Михеева // Colloquium-journal. 2019. № 17-7 (41). С. 16-23.
10. Ибраева К.Б. Эколого-биогеохимическая оценка почвенно-растительного покрова г. Каракол / К.Б.Ибраева, Б.К.Калдыбаев // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: Материалы II Международной школы-семинара для молодых исследователей, посвященной памяти профессора В.Б.Ильина; Тюменский государственный университет. Тюмень, 2016. С. 222-229.
11. Калманова В.Б. Геоэкологическая оценка состояния почвенного покрова урбанизированной территории (на примере г. Биробиджана) // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 2 (18). С. 15-20.
12. Касимов Н.С. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) / Н.С.Касимов, Д.В.Власов // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 3. С. 14-22.
13. Качор О.Л. Исследование возможности иммобилизации подвижных форм мышьяка в техногенных субстратах / О.Л.Качор, Г.И.Сарапулова, А.В.Богданов // Записки Горного института. 2019. Т. 239. С. 596-602. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.596
14. Кряжева Е.Ю. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах г. Ухта (Республика Коми) / Е.Ю.Кряжева, Е.М.Лаптева // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: Материалы международной научной конференции; Вятский государственный университет. Киров, 2019. С. 286-290.
15. Кузьминская Н.Ю. Эколого-геохимическое состояние травянистых растений в городских ландшафтах Серпухова (Московская область) / Н.Ю.Кузьминская, Н.Е.Кошелева, Н.В.Кузьменкова // Экологические проблемы промышленных городов: Сборник научных трудов по материалам 8-й Международной научно-практической конференции; Саратовский государственный технический университет им. Ю.А.Гагарина. Саратов, 2017. С. 36-41.
16. Ларионова А.А. Оценка состояния почв города Тюмени при планировании его устойчивого развития / А.А.Ларионова, В.Р.Гоняева // Новые технологии – нефтегазовому региону: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; Тюменский индустриальный университет. Тюмень. 2017. С. 111-114.
17. Лейхин И.В. Оценка содержания тяжелых металлов в почвах Йошкар-Олы // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXIII Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А.Усова, посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И.Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К.В.Радугина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2019. С. 595-597.
18. Мониторинг загрязненности тяжелыми металлами почвенного покрова и растений (на примере *potentilla tanacetifolia* Willd. Ex schlecht.) природных экосистем в условиях урбанизированной территории г. Читы / Г.Ю.Самойленко, Е.А.Бондаревич, Н.Н.Коцюргинская, И.А.Борискин // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. № 1 (22). С. 110-115.
19. Новикова С.А. Влияние выбросов автомобильного транспорта Иркутской агломерации на состояние почв и растительности придорожных полос // Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития: Материалы II Международной научно-практической конференции; Иркутский государственный университет. Иркутск, 2018. С. 221-227.
20. Новиков С.Г. Почвы различных категорий землепользования г. Петрозаводска / С.Г.Новиков, Г.В.Ахметова // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1132-1141.
21. Оценка загрязнения рекреационных зон мегаполиса тяжелыми металлами (на примере Екатеринбурга) / Е.А.Байтимирова, Е.В.Михеева, Е.Н.Беспамятных, И.М.Донник, А.С.Кривоногова // Аграрный вестник Урала. 2016. № 4 (146). С. 71-77.
22. Почвенный покров как индикатор полиметаллического загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха г. Казани / Ю.А.Тунакова, Д.В.Иванов, А.Р.Шагидуллин, В.С.Валиев // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 1 (17). С. 53-58.
23. Проблемы обращения с городскими почвами, загрязненными нефтепродуктами и тяжелыми металлами / В.С.Хомич, С.В.Савченко, В.А.Рыжиков, Е.М.Глушень, Ю.А.Романович, Р.М.Зайнь Эль-Динь // Природопользование. 2019. № 1. С. 76-90.
24. Старцев А.И. Эколого-геохимические особенности почв разных функциональных зон города Новокуйбышевска / А.И.Старцев, Н.В.Прохорова // Самарский научный вестник. 2017. Т. 6. № 1 (18). С. 83-88.
25. Чертко Н.К. Экология городской окружающей среды // Экология, здоровье и образование в XXI веке. Глобальная интеграция современных исследований и технологий: Материалы III Кавказского экологического форума; Чеченский государственный университет. Грозный, 2017. С. 236-243.
26. Швец Н.И. Уровень загрязнения почв и овощных культур в условиях городской и сельской среды / Н.И.Швец, К.А.Сидорова // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 6 (48). С. 51-56.
27. Шишкина Д.Ю. Тяжелые металлы в почвах Ростова-на-Дону. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2017. 99 с.
28. Юдина Е.В. Роль отдельных почвенных характеристик в аккумуляции тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) в условиях городской среды (на примере города Абакан) // Вопросы современной науки и практики. 2018. № 3 (69). С. 9-18.
29. Abbasnejad A. Distribution, sources and pollution status of Pb in indoor and outdoor dusts of Kerman City, SE Iran / A.Abbasnejad, B.Abbasnejad // Environmental Forensics. 2019. Vol. 20(1). P. 106-119.



30. Alekseenko V.A. Geochemical Barriers for Soil Protection in Mining Areas / V.A.Alekseenko, N.G.Maximovich, A.V.Alekseenko // Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils. London: Academic Press, 2017. P. 255-274.
31. A comparative study of the accumulation of trace elements in Brassicaceae plant species with phytoremediation potential / I.Drozdova, N.Alekseeva-Popova, V.Dorofeyev, J.Bech, A.Belyaeva, N.Roca // Applied Geochemistry. 2019. Vol. 108. № 104377.
32. An assessment of the potentially hazardous element contamination in urban soils of Arica, Chile / P.Tume, N.Roca, R.Rubio, R.King, J.Bech // Journal of Geochemical Exploration. 2018. Vol. 184. P. 345-357.
33. Bushuev Y.Y. Geochemical features of Au-Te epithermal ores of the Samolazovskoye deposit (Central Aldan ore District, Yakutia) / Y.Y.Bushuev, V.I.Leontev, M.M.Machevariani // Key Engineering Materials. 2018. Vol. 769 KEM. P. 207-212.
34. Comparison of PM2.5 pollution between an African city and an Asian metropolis / L.Zeng, F.Offor, L.Zhan, H.Cheng, H.Guo // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 696. № 134069.
35. Comprehensive assessment of power coals of the Waterberg coalfield deposit (South Africa) as a basis for making decisions on their rational use / F.Yu.Sharikov, A.P.Suslov, V.Yu.Bazhin, I.I.Beloglazov // Ugol. 2019. Vol. 5. P. 96-100.
36. Geochemical distribution of potentially harmful elements in periurban soils of a Mediterranean region: Manresa (Catalonia, Spain) / J.Bech, P.Tume, N.Roca, F.Reverter // Fresenius Environmental Bulletin. 2015. Vol. 24(12A). P. 4379-4389.
37. Geochemical features of poplar leaf elemental composition in urban areas / D.V.Yusupov, L.P.Rikhvanov, N.V.Baranovskaya, A.R.Yalaltdinova // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2016. Vol. 327(6). P. 25-36.
38. Grebenschikova V.I. Chemical composition of snow and soil in Svirstk city (Irkutsk Region, Pribaikal'e) / V.I.Grebenschikova, N.V.Efimova, A.A.Doroshkov // Environmental Earth Sciences. 2017. Vol. 76(20). № 712.
39. Heavy metals content in soils of residential territories of Crimea republic / E.V.Evstafeva, A.M.Bogdanova, T.M.Minkina, S.S.Mandzhieva, E.M.Antonenko // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2018. Vol. 329(10). P. 19-29.
40. Identification of the artifact contribution to two urban Technosols by coupling a sorting test, chemical analyses, and a least absolute residual procedure / T.Lenoir, M.Duc, L.Lassabatere, K.Bellagh // Journal of Soils and Sediments. 2019. Vol. 19(2). P. 683-701.
41. Isolation and quantitative analysis of road dust nanoparticles / M.S.Ermolin, P.S.Fedotov, A.I.Ivaneev, N.N.Fedyunina, V.V.Eskina // Journal of Analytical Chemistry. 2017. Vol. 72(5). P. 520-532.
42. Kremcheev E.A. Changing hydraulic conductivity after rupturing native structure of peat under limited evaporation conditions. Lecture Notes in Earth System Sciences / E.A.Kremcheev, D.O.Nagornov, D.A.Kremcheeva. Cham: Springer International Publishing AG, 2020. P. 233-256.
43. Ngun C.T. Soil diagnosis of an urban settlement with low levels of anthropogenic pollution (Stepnoe, Saratov region) / C.T.Ngun, Y.V.Pleshakova, M.V.Reshetnikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 107. № 012067.
44. Origin identification and potential ecological risk assessment of potentially toxic inorganic elements in the topsoil of the city of Yerevan, Armenia / G.Tepanosyan, L.Sahakyan, O.Belyaeva, A.Saghatelyan // Journal of Geochemical Exploration. 2016. Vol. 167. P. 1-11.
45. Pollution characteristics and health risk assessment of potentially toxic elements in school playground soils: A case study of Lagos, Nigeria / A.O.Famuyiwa, C.M.Davidson, A.O.Oyeyiola, Y.Lanre Iyanda, S.O.Babajide // Human and Ecological Risk Assessment. 2019. Vol. 25(7). P. 1729-1744.
46. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment / A.Seleznev, I.Yarmoshenko, G.Malinovsky, D.Kiseleva, T.Gulyaeva // Scientific Reports. 2019. Vol. 9(1). № 17241.
47. Soil geochemistry as a tool for the origin investigation and environmental evaluation of urban parks in Mashhad city, NE of Iran / S.A.Mazhari, A.R.M.Bajestani, F.Hatefi, K.Aliabadi, F.Haghghi // Environmental Earth Sciences. 2018. Vol. 77(13). № 492.
48. Timofeev I. Health risk assessment based on the contents of potentially toxic elements in urban soils of Darkhan, Mongolia / I.Timofeev, N.Kosheleva, N.Kasimov // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 242. P. 279-289.
49. Trace and major element contents, microbial communities, and enzymatic activities of urban soils of Marrakech city along an anthropization gradient / A.Naylo, S.I.Almeida Pereira, L.Benidire, C.Schwartz, A.Bouarbah // Journal of Soils and Sediments. 2019. Vol. 19(5). P. 2153-2165.
50. Trace element composition of poplar in Mongolian cities / N.E.Kosheleva, I.V.Timofeev, N.S.Kasimov, T.M.Kisselyova, A.V.Alekseenko, O.I.Sorokina // Lecture Notes in Earth System Sciences. Cham: Springer International Publishing AG, 2016. P. 165-178.
51. Trace metals and PAHs in topsoils of the university campus in the megacity of São Paulo, Brazil / C.L.M.Bourotte, L.E.Sugauara, M.R.R.De Marchi, C.E.Souto-Oliveira // Anais da Academia Brasileira de Ciencias. 2019. Vol. 91(3). № 20180334.
52. Uranium and thorium in soil cover of the Irkutsk-Angarsk industrial zone (Baikal region) / V.I.Grebenschikova, P.P.Gritsko, P.V.Kuznetsov, A.A.Doroshkov // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2017. Vol. 328(7). P. 93-104.
53. Webb J. Soil quality and policy. Urban Pollution: Science and Management / J.Webb, J.L.Rubio, M.A.Fuller. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2018. P. 57-68.

Авторы: М.А.Пашкевич, д-р техн. наук, профессор, Pashkevich_MA@pers.spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), Дж.Бек, д-р наук, профессор, jaumebechborras@gmail.com (Университет Барселоны, Барселона, Испания), В.А.Матвеева, канд. техн. наук, доцент, Matveeva_VA2@pers.spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), А.В.Алексеенко, канд. техн. наук, ассистент, Alekseenko_AV@pers.spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 25.12.2019.

Статья принята к публикации 9.01.2020.