

<https://doi.org/10.53278/2306-9139-2022-2-19-40-50>
УДК 631.4

ЛИТОРИНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ПРИРОДНЫЙ СУБСТРАТ ГОРОДСКИХ ПОЧВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

LITTORIN DEPOSITS AS A SOIL-FORMING MATERIAL FOR URBAN SOILS OF ST. PETERSBURG

© 2022 г. К. А. Бахматова¹, А. А. Шешукова², Е. Г. Панова³, С. А. Егорова⁴

© 2022 Kseniia A. Bakhmatova¹, Anastasia A. Sheshukova², Elena G. Panova³, Sofia A. Egorova⁴

^{1,2,3,4} Санкт-Петербургский государственный университет,

Университетская наб., 7–9, Санкт-Петербург, 199034, Россия

^{1,2,3,4} Saint Petersburg University, Universitetskaya Emb., 7–9, Saint Petersburg, 199034, Russia

k.bakhmatova@spbu.ru¹

Аннотация: Изучен ряд городских почв Санкт-Петербурга в пределах Литориновой террасы. В почвах по общепринятым методикам определяли pH_{H_2O} , содержание углерода органических соединений, $CaCO_3$ и подвижных соединений фосфора, гранулометрический состав, а также содержание тяжелых металлов (ТМ) — *Pb*, *Cu*, *Zn*. Почвы характеризуются щелочной реакцией среды, повышенным содержанием подвижных соединений фосфора, а также загрязнением ТМ, которое варьирует в зависимости от истории землепользования, отраженной в строении антропогенной толщи. Природные литориновые отложения практически во всех случаях вскрываются под насыпной толщей на глубине 150–190 см, а также присутствуют в качестве мелкоземистого материала горизонтов урбик. Залегающие в нижней части профиля почв литориновые отложения не загрязнены ТМ и могут служить эталоном сравнения для оценки степени загрязнения поверхностных горизонтов.

Abstract: A number of urban soils of St. Petersburg on the Littorina terrace were studied. pH_{H_2O} , the carbon content of organic compounds, $CaCO_3$, and mobile phosphorus compounds, particle size distribution, and the content of heavy metals (HM) — *Pb*, *Cu*, *Zn* were determined in soils according to common methods. The studied soils were alkaline, had an increased content of mobile phosphorus compounds, and were contaminated with HM. HM concentrations varied depending on the history of land use, reflected in the structure of the anthropogenic layers. Natural Littorina deposits commonly were found under anthropogenic layers at a depth of 150–190 cm, and were also present as fine earth material in the urbic horizons. Littorina deposits occurring in the lower part of the soil profile are not contaminated with HMs and can serve as a comparison standard for assessing the degree of contamination of surface horizons.

Ключевые слова: городские почвы, Литориновая терраса, почвенные артефакты, тяжелые металлы, антропогенная трансформация почв

Keywords: urban soils, the Littorina terrace, soil artefacts, heavy metals, anthropogenic soil transformation

Введение

Урбанизация в современном мире постоянно прогрессирует, приводя к неуклонному возрастанию доли городского населения в развитых странах, не исключая Россию, где эта доля превышает 70%. В условиях урбанизации происходит трансформация всех компонентов природного ландшафта, включая его основу — почвы и грунты. Антропогенный фактор почвообразования в городской среде становится доминирующим [12, 27, 36, 42, 43]. Важнейшей причиной трансформации почв и грунтов является поступление в них антропогенного материала (арте-

факты, техногенная пыль и т. д.), а также создание насыпных слоев, которые становятся субстратом почвообразования для городских почв [27]. Насыпные слои могут быть представлены строительным мусором, городскими отходами, золой, шлаком, или представлять собой намывной материал [22]. В американской классификации почв такие субстраты рассматриваются как измененные или транспортированные человеком (human-altered и human-transported materials), а сформированные на них почвы — как human-altered и human-transported soils (НАНТ) [29, 32]. Археологи и специалисты в области археологиче-

ского почвоведения и палеопочвоведения называют антропогенный нанос на поверхности природных почв или грунтов культурным слоем [41]. А. В. Долгих и А. Л. Александровский для обозначения мощных культурных слоев городов с рассеянными признаками педогенеза и слабо развитыми почвами предложили термин «городские педоседименты» [3]. Культурный слой состоит из заполнителя (мелкоземистого материала) и артефактов. Заполнитель является сложным природно-антропогенным образованием, формирующимся под действием почвенных и седиментационных процессов [16]. Наряду с техногенными компонентами, такими как пыль и мелкодисперсная составляющая строительного мусора, значительный вклад в формирование заполнителя культурного слоя вносят перемещенные и перемешанные с антропогенным материалом фрагменты исходных почв и грунтов. По этой причине во многих публикациях [23, 28, 31, 49] данные о природных факторах (геологическое строение, породы, рельеф) используются для выявления закономерностей формирования и функционирования городских почв.

Техногенные субстраты могут способствовать развитию в городских почвах процессов, не свойственных исходным почвам изучаемой территории [32]. При этом для заметного проявления этих процессов требуется определенное время: так, исследователями из Бельгии [25] показано, что признаки выщелачивания, элювиирования или иллювиирования проявляются только в тех насыпных горизонтах городских почв, с момента формирования которых прошло не менее 100 лет. В связи с этим, свойства городских почв сильно зависят от характеристик насыпного материала и, в частности, от природы включенных в него артефактов.

Общепризнанной является высокая гетерогенность строения и свойств городских почв [12, 21, 25, 27, 31, 36] как в вертикальном направлении, так и по площади. В терминологии Н. П. Солнцевой с соавторами [15], можно говорить о наблюдаемой в таких почвах полной разупорядоченности природной матрицы (исходного генетического профиля), а также сочетании в них литогенных и остаточно-почвенных элементов и признаков. Для городских почв литогенная составляющая также характеризуется сложностью и неоднородностью, поскольку является результатом соединения природных и техногенных компонентов.

Благодаря близости свойств техногенных материалов (кирпич, цемент, шлаки и т. д.), независимо от региона их производства, городские почвы приобретают ряд общих свойств, наблюдаемых в крупных городах разных регионов и даже континентов [34]: повышенная плотность сложения, преимущественно

щелочная реакция, повышенное содержание фосфора, а нередко и углерода, высокое содержание загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов (ТМ). *Pb*, *Cu*, *Zn* являются теми металлами, повышенное содержание которых наблюдается в почвах большинства городов мира [7, 24]. Их было даже предложено называть «городскими металлами», поскольку их аккумуляция в поверхностных горизонтах почв обусловлена разнообразными антропогенными источниками [26]. В работах многих исследователей [30, 37] показано, что на степень загрязнения городских почв ТМ влияют уровень развития промышленного производства в городе, а также длительность воздействия источников загрязнения на почвы.

В свете вышеизложенного нами была поставлена цель — изучить городские почвы центральной части Санкт-Петербурга, подстилающими породами и основой мелкоземистого заполнителя культурного слоя которых послужили литориновые отложения. В рамках данной работы рассматриваются морфологические характеристики почв, гранулометрический состав, основные химические характеристики и содержание наиболее распространенных ТМ — *Pb*, *Cu*, *Zn*.

Краткая характеристика исследуемой территории

Санкт-Петербург располагается на 59°57' с. ш. и 30°19' в. д., на побережье Финского залива, площадь города достигает 1400 км², при этом собственно городская территория занимает около половины. Город расположен в южной подзоне тайги, климат умеренный, переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Санкт-Петербург располагается на северо-западной окраине сложенной древними осадочными породами Русской плиты Восточно-Европейской платформы. Основная часть города находится в пределах Приневской низменности — террасированной озерно-ледниковой равнины, формирование которой происходило под влиянием поздне- и послеледниковых водоемов. Самая нижняя ступень Приневской низменности — Литориновая терраса, с высотными отметками в пределах нескольких метров над уровнем моря. Терраса в центральной части города имеет ширину около 5 км и более, а по северному и южному берегам залива (Петродворцовый и Курортный районы) терраса сужается до 1 км и менее. Свое название терраса получила по наименованию Литоринового моря, одной из стадий развития Балтийского моря в голоцене, существовавшего в период около 8,5–4,5 тыс. лет назад [20]. Литологический состав литориновых отложений — пески, супеси и суглинки серого и голубовато-серого цвета с прослоями хорошо раз-

ложившегося торфа. В суглинках, в свою очередь, отмечается слоистость, прослои и линзы пылеватых песков. Пески относятся в основном к тонкозернистым с высоким содержанием фракции крупной пыли, в пылеватых песках крупные фракции (>1 мм) отсутствуют, в мелких песках их доля в среднем составляет 1–2%. В минералогическом составе доминируют кварц и полевые шпаты [8].

Объекты и методы полевых исследований

Диагностика почв проводилась согласно Классификации почв России 2004 года [4] с учетом новейших разработок в области классификации городских почв России [11], а также некоторыми нашими дополнениями. Городские почвы были отнесены к выделяемому в Синлитогенном стволе типу урбостратоземы. Урбостратоземы — почвы, профиль которых состоит из серии насыпных органоминеральных горизонтов. Диагностическим для урбостратоземов является поверхностный горизонт урбик (UR) со значительным содержанием строительного и бытового мусора (более 10%). Горизонт урбик имеет признаки слоистого сложения/опесчаненности/гравелистости. Для него типична нейтральная или щелочная реакция среды. Мощность горизонта урбик больше 5 см, если он подстилается срезанными природными субстра-

тами или техногенными отложениями, и не менее 40 см, если он залегает на естественных почвенных горизонтах. Подтип урбостратоземы серогумусированные выделяется в случае, если поверхностный горизонт имеет признаки природного серогумусового горизонта. Почвообразующей породой для урбостратоземов является культурный слой, подстилается профиль урбостратоземов либо природной почвообразующей породой, либо погребенной естественной почвой, либо техногенными грунтами. В последнем случае выделяются урбостратоземы техногенные. Техногенный горизонт (ТСН) — это техногенные отложения, насыпной субстрат, созданный или модифицированный деятельностью человека, обладающий повышенной плотностью и твердостью и содержащий антропогенные включения.

Для решения поставленных в исследовании задач, на основании анализа почвенной карты Санкт-Петербурга [1] и материалов собственных исследований [5, 38–40], в пределах Литориновой террасы были выбраны 7 опорных разрезов, расположенных в разных ее частях (рис. 1). Почвенные разрезы были заложены в полевые сезоны разных лет. В некоторых из них удалось обнаружить исходные дерново-глеевые почвы, находящиеся сейчас в погребенном состоянии. В данном описании почвенные разрезы расположены по принципу удаления от центральной части города:

Разрез 1 — Урбостратозем техногенный, подстилаемый литориновыми супесями. Разрез приурочен к археологическому раскопу на территории Петропавловской крепости (Заячий остров), заложеному в 1–2 м от входа в Комендантский дом, в 1 м от его стены, на газоне. Крепость была заложена Петром Великим в 1703 г. и строилась с 1706 по 1740 гг. Комендантский дом — здание в стиле барокко, возведенное между 1743 и 1746 гг. В 2003 г. фасады Комендантского дома были отреставрированы и был возведен атриум. Реставрация определенно повлияла на строение и химический состав прилегающих почв.

Разрез 2 — Урбостратозем, подстилаемый литориновыми супесями. Разрез заложен в Ботаническом саду им. Петра Великого (Аптекарский остров), в 2 м к востоку от Оранжереи, на территории отдела карантинных растений. Оранжереи были построены в 1823–1824 гг. В период блокады Ленинграда (1941–1944 гг.), 50 зажигательных бомб и 85 снарядов поразили здания оранжерей, обломки стекла и кирпича попали в почвы.

Разрез 3 — Урбостратозем техногенный на погребенной дерново-перегнойно-глеевой почве на литориновых супесях и разрез 4 — Урбостратозем супесчаный, подстилаемый литориновыми супесями, приурочены к археологическим раскопам

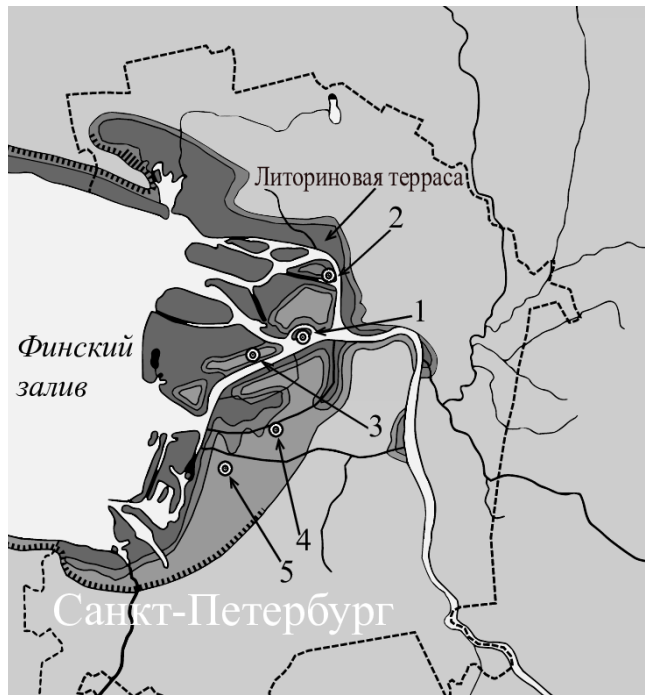


Рис. 1. Литориновая терраса. Цифрами на карте-схеме обозначены места заложения разрезов: 1 — Петропавловская крепость, 2 — Ботанический сад им. Петра Великого, 3 — Румянцевский сквер (заложено 2 разреза), 4 — парк усадьбы Г. Р. Державина (наб. Фонтанки, 118) (заложено 2 разреза), 5 — сквер у здания администрации Кировского района (пр. Стачек, 18)

в Румянцевском сквере (Васильевский остров). Площадь сквера 1,35 га. В начале XVIII в. этот участок занимал Меншиковский рынок, позднее его сменила строительная площадка по возведению расположенного рядом здания Академии Художеств. В конце XVIII в. на территории будущего сквера разместился парадный плац находящегося по соседству Первого кадетского корпуса. Сквер (городской сад) был создан только в 1867 г. В 1927 г. планировку сквера изменили, сократив количество дорожек и изменив размещение насаждений на главной аллее (<https://www.citywalls.ru/house22567.html>).

Разрез 5 — Урбостратозем супесчаный на погребенной дерново-глеевой почве, подстилаемой литориновыми супесями и разрез 6 — Урбостратозем супесчаный на погребенной дерново-глеевой почве, подстилаемой литориновыми супесями, были заложены в саду усадьбы Г. Р. Державина (наб. Фонтанки, 118) в период реставрации сада. Сад создавался на рубеже XVIII и XIX вв. как часть усадьбы известного поэта и государственного деятеля. Современная площадь сада 2,63 га. Две трети территории изначально занимал огород, центром декоративной части служил газон, по периферии сада была проложена гидросеть (пруды и ручей). В середине XIX вв. сад перешел в собственность Римской католической церкви, и его композиция была обновлена. С 1917 г. сад стал общественным местом отдыха и постепенно деградировал вплоть до реконструкции, проведенной в 2007–2011 гг.

Разрез 7 — Урбостратозем серогумусированный супесчаный описан в сквере у здания администрации Кировского района. Сквер расположен на пр. Стачек, 18, в одном из наиболее промышленно развитых районов Санкт-Петербурга. До создания сквера и прилегающего к нему парка им. 9 Января на этом месте располагались постройки деревни Тентелевой и бараки для рабочих химического завода, которые сохранялись до середины 1930-х гг.

Методы лабораторных исследований

Гранулометрический состав почв определялся пипет-методом в модификации Почвенного института им. В. В. Докучаева [13]. Химические характеристики почв были определены общепринятыми методами: измерение pH проводилось в водной, для природной почвы — в водной и солевой суспензии, при соотношении почва : раствор = 1:2,5, потенциометрическим методом (pH-метр «Мультитест»), определение содержания углерода органических соединений — методом Тюрина с титриметрическим окончанием, содержание карбонатов — гравиметрическим методом, содержание обменных катионов в природной почве — комплексонометрическим методом после вытеснения NaCl, величина гидролитической кислотности в природной почве — по Каппену-Гильковицу [17], содержание подвижного фосфора — в разрезах 1–4 — в вытяжке Олсена, в разрезах 5–7 — в вытяжке Мачигина [10]. Определение содержания тяжелых металлов проводилось с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии в химической лаборатории «ООО ТСК» после разложения почвы смесью кислот.

Результаты и их обсуждение

Строение изученных городских почв (рис. 2 а-ж) характерно для почв центральной части крупных городов, где в каждом профиле чередуются слои, состоящие из разнородных материалов, морфологическое строение и состав которых определяются главным образом историей землепользования на конкретном участке [12, 21]. Во всех изученных почвах мощность антропогенной толщи, где ее удалось определить, составила около 120–180 см. В некоторых почвах (разрезы 2, 3, 7) встречаются техногенные слои, состоящие преимущественно из обломков кирпича, в почвах разрезов 2 и 7, сформировавшихся, предположительно, в период Великой Отечественной войны, а в разрезе 3 — ранее, в ходе изменений планировки сквера. В целом почвы характеризовались супесчаным гранулометрическим составом, что дает основание предполагать, что при подсыпке слоев использовался местный материал — супеси литориновой террасы. Содержание крупнозема (частиц размером более 1 мм) сильно варьирует по профилю, однако максимальные его количества были приурочены к горизонтам ТСН (до 50% от массы горизонта), а в погребенных природных почвах он отсутствовал.

Химические характеристики изученных почв (табл. 1) являются типичными для городских почв [11, 34]. Им свойственно преобладание щелочной реакции, которая в нижних горизонтах сменяется близкой к нейтральной. Характерно присутствие во многих горизонтах карбонатов техногенного происхождения (остатки строительного раствора, известь). Содержание углерода органических соединений варьирует по профилю, при этом выделяются относительно повышенные значения в современных поверхностных горизонтах, в гумусовых горизонтах погребенных почв (разрез 3) и в некоторых горизонтах UR, относительно обогащенных органическим веществом, что может быть связано как с характером насыпного субстрата, так и с длительностью функционирования этого горизонта как поверхностного на предыдущих этапах формирования почвы [19].

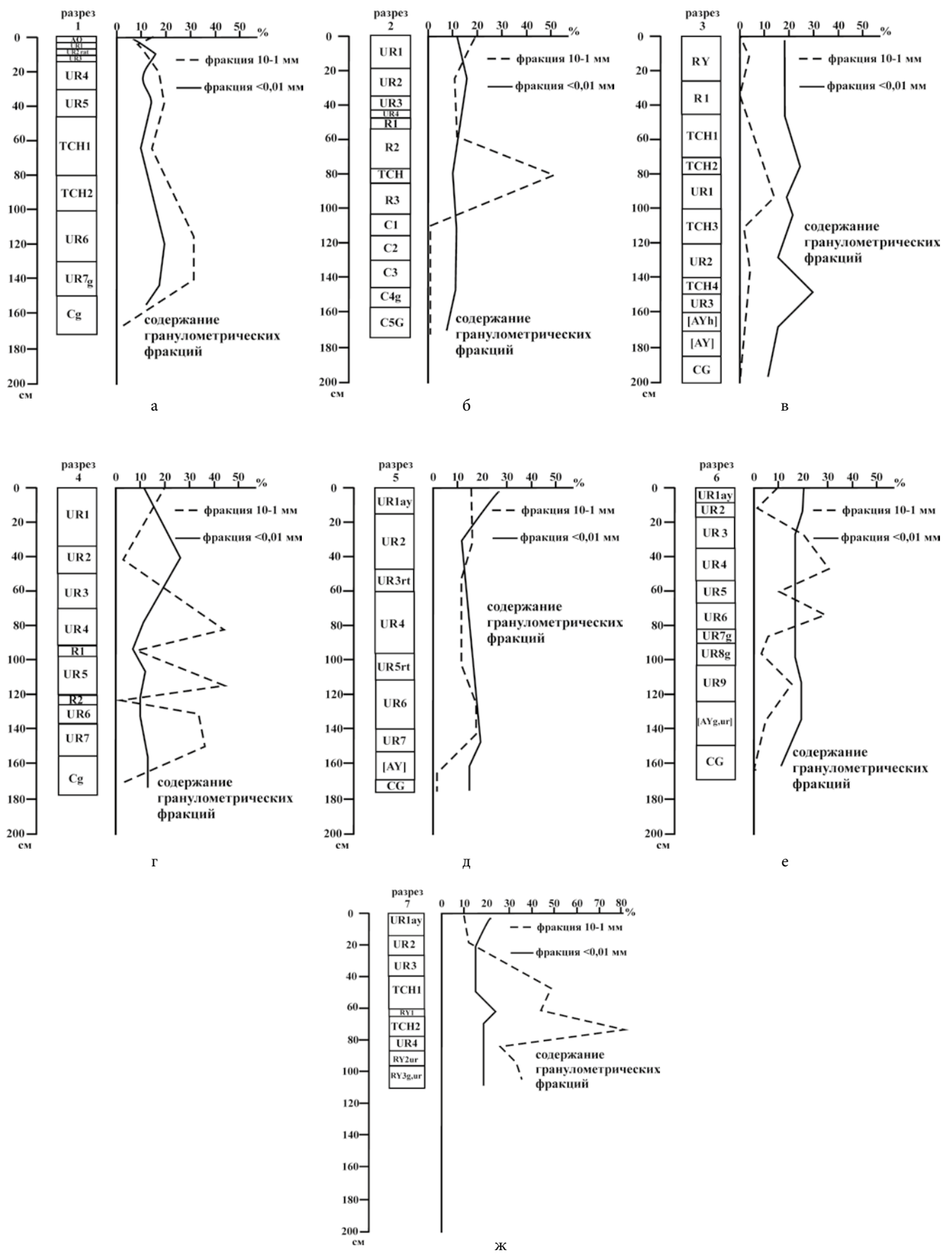


Рис. 2 (а-ж). Строение почвенных разрезов. Содержание фракций крупнозема и физической глины в почвенных разрезах

Таблица 1. Химические характеристики городских почв Санкт-Петербурга

Горизонт	Глубина, см	pH _{H₂O}	C _{орг} , %	CaCO ₃ , %	P подв.	Cu	Pb	Zn
					мг/кг			
Разрез 1 — Урбостратозем техногенный, подстилаемый литориновыми супесями (Петропавловская крепость)								
UR1	0–3	7,41	3,12	2,20	30,0	55	121	1360
UR1	3–6	6,64	0,21	н/о	5,5	11	9	555
UR2rat	6–9	6,51	8,08	н/о	20,0	272	256	4343
UR3	9–13	7,01	1,52	н/о	18,0	92	127	4300
UR4	13–31	8,11	0,78	2,77	23,6	30	546	1400
UR5	31–46	8,10	1,43	4,12	66,2	н/о	н/о	н/о
TCH1	46–80	8,11	1,22	4,61	99,2	н/о	н/о	н/о
UR6	80–134	7,82	2,12	1,50	37,3	40	62	50
UR7g	134–150	7,12	2,52	н/о	66,7	15	45	27
Cg	150–170	6,51	0,91	н/о	60,7	7	10	20
Разрез 2 — Урбостратозем, подстилаемый литориновыми супесями (Ботанический сад)								
UR1	0–19	7,70	1,03	26,29	32,0	16	106	72
UR2	19–36	7,85	0,98	2,16	38,7	16	198	65
UR3	36–42	7,87	0,98	1,82	37,0	15	125	68
UR4	42–52	7,50	1,94	1,24	36,0	28	149	243
R1	52–54	7,62	0,33	1,16	26,6	н/о	н/о	н/о
R2	54–79	7,56	1,26	1,41	50,7	16	63	50
TCH	75–84	8,58	0,32	5,57	34,7	н/о	н/о	н/о
R3	84–102	7,15	0,15	н/о	24,0	3	6	16
C1	102–117	7,06	0,00	н/о	21,3	3	3	15
C2	117–130	6,92	0,05	н/о	21,3	6	2	36
C3	130–145	6,90	0,01	н/о	20,0	н/о	н/о	н/о
C4g	145–158	6,88	0,02	н/о	17,3	н/о	н/о	н/о
C5G	158–175	6,72	0,00	н/о	8,0	н/о	н/о	н/о
Разрез 3 — Урбостратозем техногенный на погребенной дерново-перегнойно-глеевой почве на литориновых супесях (Румянцевский сквер)								
RY	0–25	7,35	3,20	2,34	26,6	87	175	272
R1	25–41	8,76	0,72	8,72	32,0	46	58	34
TCH2	70–80	8,50	0,55	3,72	40,0	18	57	44
UR1	90–100	8,17	1,00	10,26	122,7	36	154	209
TCH3	100–120	8,33	0,50	24,49	88,0	29	302	118
UR2	120–140	8,20	1,16	7,16	64,0	25	183	27
UR3	150–160	8,30	0,37	1,56	21,3	16	70	43
[AYh]	160–170	7,05	4,64	н/о	18,7	18	79	39
[AY]	170–175	6,90	1,63	н/о	21,3	11	25	15
CG	185–200	7,28	0,09	н/о	16,0	2	3	10
Разрез 4 — Урбостратозем супесчаный, подстилаемый литориновыми супесями (Румянцевский сквер)								
UR1	0–36	8,16	1,42	3,32	37,3	43	282	205
UR2	51–67	8,10	1,72	2,23	21,3	15	136	37
UR3	67–95	8,53	0,73	6,17	32,0	28	91	42
UR4	95–98	8,34	0,31	1,42	24,0	9	23	22
UR5	98–120	8,12	1,91	2,92	53,3	52	265	247
R2	120–126	8,01	0,27	1,72	32,0	5,7	86	23
UR6	132–137	8,12	1,28	1,66	50,7	16	458	32
UR7	137–157	8,23	1,18	1,74	45,3	15	606	25
Cg	157–174	8,18	0,15	1,36	42,7	3	8	13

Таблица 1. Окончание.

Горизонт	Глубина, см	pH _{H₂O}	C _{орг} , %	CaCO ₃ , %	P подв.	Cu	Pb	Zn
					мг/кг			
Разрез 5 -Урбостратозем супесчаный на погребенной дерново-глеевой почве, подстилаемой литориновыми супесями (сад усадьбы Г. Р. Державина)								
UR1ay	0–15	7,24	5,37	2,9	20,3*	50	150	150
UR2	15–47	7,78	3,17	2,7	12,6*	30	100	120
UR3rt	47–60	7,90	6,92	4,6	16,8*	30	150	80
UR4	60–99	8,15	2,67	2,9	15,6*	25	60	80
UR5rt	99–112	8,26	5,22	4,3	15,1*	25	100	80
UR6	124–140	8,44	4,49	3,3	13,2*	20	50	60
UR7	140–155	8,09	2,86	2,2	н/о	20	20	50
[AY]	155–170	7,68	1,94	1,3	10,5*	50	20	40
CG	171–176	8,24	0,52	1,5	н/о	15	20	30
Разрез 6 — Урбостратозем супесчаный на погребенной дерново-глеевой почве, подстилаемой литориновыми супесями (сад усадьбы Г. Р. Державина)								
UR1ay	0–7	7,08	4,36	2,9	9,4*	40	150	400
UR2	7–17	7,69	2,53	3,2	12,2*	30	150	200
UR3	17–35	8,00	1,69	5,1	10,5*	40	400	600
UR4	35–56	8,22	0,75	3,4	10,0*	25	80	60
UR5	56–64	7,85	1,14	4,9	н/о	н/о	н/о	50
UR6	64–81	8,00	1,81	4,2	н/о	30	150	30
UR7g	81–88	7,85	1,05	3,2	н/о	н/о	н/о	50
UR8g	88–103	7,98	0,64	3,8	н/о	30	60	30
UR9	103–122	8,10	0,88	5,4	н/о	н/о	н/о	50
[AYg,ur]	122–150	6,20	2,44	1,5	7,0*	25	30	30
CG	150–170	7,55	0,07	2,5	н/о	15	18	30
Разрез 7 — Урбостратозем серогумусированный супесчаный (сквер у здания администрации Кировского района)								
UR1ay	0–15	7,4	3,50	2,5	22,0*	92	180	280
UR1	15–25	7,8	2,46	1,3	8,0*	н/о	н/о	н/о
UR2	25–40	7,9	2,68	2,9	17,0*	н/о	н/о	н/о
TCH1	40–60	8,1	1,45	7,0	н/о	н/о	н/о	н/о
RY1	60–63	8,0	2,00	4,6	н/о	н/о	н/о	н/о
TCH2	63–77	7,9	3,42	4,7	н/о	н/о	н/о	н/о
UR4	77–84	7,8	1,90	15,7	н/о	н/о	н/о	н/о
RY2ur	84–94	7,0	1,83	10,8	н/о	н/о	н/о	н/о
RY3g,ur	100–110	7,2	0,84	1,3	н/о	н/о	н/о	н/о

Примечания: н/о — не определено; *выделены значения подвижного фосфора, полученные в вытяжке Мачигина

Сравнение характеристик городских почв с природной почвой литориновой террасы (табл. 2) выявило значительные различия их свойств: так, городские почвы были щелочными, а природная почва оценивалась как слабокислая, на основании определения величины водородного показателя водной суспензии, и среднекислая, в соответствии с результатами определения pH в солевой суспензии (исключение составлял поверхностный горизонт).

Природная почва характеризовалась низкой степенью насыщенности основаниями. В то же время содержание углерода органических соеди-

нений в гумусовом горизонте природной почвы в целом было близко к его содержанию как в погребенных, так и в дневных гумусовых горизонтах городских почв.

В изученных почвах преобладали высокие уровни содержания подвижных соединений фосфора, а концентрации этого элемента, оцениваемые как низкие, встречались крайне редко. При этом нередко наиболее высокие содержания фосфора отмечались не в поверхностных горизонтах, а в средней и нижней части профиля (разрез 1, 3, 4). Такую закономерность можно объяснить антропогенным поступлением соединений фосфора на всех

Таблица 2. Химические характеристики дерново-глеевой среднесуглинистой почвы на литориновых супесях (южное побережье Финского залива, парк Сергиевка)

Горизонт	Глубина, см	pH_{H_2O}	pH_{KCl}	$C_{орг}$ %	H_2	Ca^{2+}	Mg^{2+}	V, %
					смоль(+)/кг почвы			
AY1	0–6	6,2	5,4	2,18	46,6	6,0	3,0	16
AY2	6–15	6,0	4,8	1,96	34,3	5,0	4,0	21
Gox	20–30	6,2	4,6	0,53	17,8	1,8	1,5	16
G	60–70	6,3	4,8	0,12	5,1	2,0	2,0	44

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в незагрязненных почвах и почвах разных городов мира

Источник	Cu	Pb	Zn
Пахотные почвы Северо-Запада, поверхностный горизонт, медиана [6]	9	16	48
Лесная почва, дерново-подзол иллювиально-железистый на озерно-ледниковых песках (Ленинградская обл.), гумусовый горизонт [9]	5	9	46
Лесная почва, дерново-элювиально-метаморфическая глееватая на ленточных глинах (Ленинградская обл.), гумусовый горизонт [9]	17	30	85
Почвы мира, среднее [33]	20	25	64
Поверхностный горизонт почв Санкт-Петербурга, медиана [2]	50	60	200
Поверхностный горизонт почв Берлина, медиана [18]	29	55	87
34 европейских города, медиана [35]	46	102	130
21 город Китая, медиана [35]	40	55	109

этапах формирования городской почвы, а также миграцией его соединений из верхних горизонтов в нижние.

Для выявления наличия и степени загрязнения почв ТМ принято сравнивать полученные значения с фоновыми, т. е. аналогичными незагрязненными почвами. Такой подход трудно реализовать для городских антропогенных почв, для которых отсутствуют незагрязненные аналоги, а мелкозем этих почв может иметь различное происхождение [45]. Тем не менее, сравнение между почвами городов мира и незагрязненными почвами северо-запада России (табл. 3) показали превышение концентраций *Pb*, *Cu* и *Zn* в исследованных городских почвах от 2–3 до 30 и более раз.

Особенно высокие концентрации цинка отмечались в почве разреза 1, где аккумуляция этого металла в поверхностных горизонтах могла быть обусловлена недавно проведенной реставрацией, во время которой в почву попали частицы краски и обрезки оцинкованного железа, используемого для кровли. При этом отмечается сходство большинства полученных значений с медианными содержаниями ТМ в почвах крупных городов мира. Между распределением ТМ по профилю почв и другими характеристиками (рН, содержание углерода органических соединений и физической глины) не было выявлено корреляционных взаимосвязей. Наблюдалось сильное варьирование концентраций ТМ по горизонтам профиля, обусловленное, очевидно, историей

землепользования, отраженной в почвенном профиле: наиболее сильное варьирование наблюдалось в почвах Румянцевского сада (разрезы 3 и 4), где эта история была наиболее сложна. Расчет коэффициентов накопления ТМ по отношению к породе (гор. Сг) в разрезе 4 (рис. 3) показал два синхронных пика — в поверхностном горизонте UR1 и в горизонте UR5 (98–120 см), что свидетельствует о полиэлементном загрязнении почвы, которое хорошо согласуется с историей участка, так в горизонтах UR6, UR7 наблюдалось загрязнение преимущественно свинцом, который широко применялся в XVIII в., то есть в то время, когда эти горизонты, вероятно, сформировались, для изготовления красок, труб и оконных переплетов.

Заключение

Преобладающими почвами исторической части Санкт-Петербурга, расположенной в пределах Литориновой террасы, являются урбостратоземы, в профиле которых могут сохраняться исходные природные почвы, перекрытые культурным слоем общей мощностью до 150–190 см. Собственно литориновые отложения вскрываются под насыпной толщей (культурным слоем) даже в тех случаях, когда природные почвы, на них сформированные, не сохранились в результате преобразования или уничтожения человеком. Литориновые отложения сохраняются также в качестве мелкоземистого заполнителя в большинстве насыпных горизонтов,

что отражается как в их морфологии, так и в гранулометрическом составе. В городских почвах нередко наблюдалось значительное количество артефактов, основная масса которых представлена строительным мусором (обломками кирпича, стекла, кусками строительного раствора, шлака и др.). Состав, количество и размеры антропогенных включений зависели от истории землепользования на конкретном участке и варьировали в разных разрезах, заложенных в пределах одного объекта (например, сквера или сада).

Исследованные почвы характеризовались преобладанием щелочной реакции, присутствием карбонатов, повышенным содержанием подвижных

соединений фосфора. Содержание углерода органических соединений варьировало по профилю, при этом максимальное содержание наблюдалось в поверхностном горизонте и в гумусовых горизонтах погребенных природных почв.

Содержание тяжелых металлов в насыпной толще было повышенным, что свидетельствовало об антропогенном загрязнении почв. Концентрации *Cu*, *Pb* и *Zn* изменялись по профилю, при этом природные почвообразующие породы, залегающие под антропогенной толщей, характеризовались минимальным содержанием тяжелых металлов, поэтому могут служить «внутренним фоном» для оценки степени загрязнения поверхностных горизонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апарин Б. Ф., Сухачева Е. Ю. Принципы создания почвенной карты мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 790–802.
2. Голубев А. Д., Сорокин Н. Д. (ред.). Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге: аналитический обзор экологической обстановки в Санкт-Петербурге за 25 лет. Санкт-Петербург : ФормаТ, 2004. 784 с.
3. Долгих А. В., Александровский А. Л. Почвы и культурный слой Великого Новгорода // Почвоведение. 2010. № 5. С. 515–526.
4. Классификация и диагностика почв России. Авторы и составители: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Матинян Н. Н., Бахматова К. А., Коренцвит В. А. Почвы Летнего сада (Санкт-Петербург) // Почвоведение. 2017. № 6. С. 643–651.
6. Матинян Н. Н., Рейманн К., Бахматова К. А., Русаков А. В. Фоновое содержание тяжелых металлов и мышьяка в пахотных почвах Северо-Запада России (по материалам Международного геохимического атласа) // Вестник СПбГУ, сер.3. Вып.3. 2007. С. 123–134.
7. Никифорова Е. М., Кошелева Н. Е. Многолетняя динамика загрязнения тяжелыми металлами почв Восточного округа Москвы // Геохимия ландшафтов и география почв. Под ред. Н. С. Касимов и М. И. Герасимовой. М. : АПР, 2012. С. 186–206.
8. Норова Л. П., Николаева Л. П. Изменчивость физико-механических свойств комплекса морских и озерных голоценовых отложений в разрезе Санкт-Петербурга // Грунтоведение. 2018. № 1 (10). С. 27–37.
9. Панова Е. Г., Олейникова Г. А., Матинян Н. Н., Бахматова К. А. Химический состав водорастворимой фракции почв на озерно-ледниковых отложениях Русской равнины // Почвоведение, 2016, № 6. С. 679–689.
10. Практикум по агрохимическому анализу почв: Учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. 88 с.
11. Прокофьева Т. В., Герасимова М. И., Безуглова О. С., Бахматова К. А., Гольева А. А., Горбов С. Н., Жарикова Е. А., Матинян Н. Н., Наквасина Е. Н., Сивцева Н. И. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014, № 10. С. 1155–1164.
12. Прокофьева Т. В., Иванников Ф. А., Розанова М. С., Рахлеева А. А. Формирование почв в урбанизированной среде: условия и результаты трансформации почвоподобных техногенных образований (на примере г. Москвы) // Функционирование почв в меняющихся условиях окружающей среды. Отв. Ред.: Терехова В. А., Шоба С. А. М.: ГЕОС, 2015. С. 86–105.
13. Растворова О. Г. Физика почв (практическое руководство). Л. : Изд-во Ленингр. Ун-та, 1983. 196 с.
14. Семенюк О. В., Силева Т. М., Пеленева М. В. 2011. Минеральная основа антропогенных почв объектов ландшафтной архитектуры // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. № 4. С. 17–21.
15. Солнцева Н. П., Герасимова М. И., Рубилина Н. Е. Морфогенетический анализ техногенно-преобразованных почв // Почвоведение. 1990. № 8. С. 124–129.
16. Сычева С. А. Культурный слой как объект гео-

- графии // Известия РАН. Сер. геогр. 1999. № 6. С. 13–21.
17. Химический анализ почв: Учебное пособие / Растворова О. Г., Андреев Д. П., Гагарина Э. И., Касаткина Г. А., Федорова Н. Н. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 1995. 264 с.
 18. Abel S., Nehls T., Mekiffer B., Wessolek G. Heavy metals and benzo[a]pyrene in soils from construction and demolition rubble // *J. of Soils and Sediments*. 2015, 15. P. 1771–1780.
 19. Amossé J., Le Bayon R.-C., Gobat J.-M. Are urban soils similar to natural soils of river valleys? // *J. of Soils and Sediments*. 2014, 15 (8) DOI: 10.1007/s11368-014-0973-6.
 20. Andrén T., Björck S., Andrén E. et al. The development of the Baltic Sea Basin during the last 130 ka // *The Baltic Sea Basin* / Harff J., Björck S., Hoth P. (eds.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. P. 75–97.
 21. Burghardt W., Morel J. L., Zhang G. L. Development of the soil research about urban, industrial, traffic, mining and military areas (SUITMA) // *Soil Science and Plant Nutrition*. 2015, 61. P. 3–21.
 22. Burt R., Hernandez L., Shaw R., Tunstead R., Ferguson R., Peaslee S. Trace element concentration and speciation in selected urban soils in New York City // *Environ. Monitoring and Assessment*. 2014, 186. P. 195–215.
 23. Canedoli C., Ferré C., El Khair D. A., Padoa-Schioppa E., Comolli R. Soil organic carbon stock in different urban land uses: high stock evidence in urban parks // *Urban Ecosystems*. 2020, 23. P. 159–171.
 24. Cannon W. F., Horton J. D. Soil geochemical signature of urbanization and industrialization — Chicago, Illinois, USA // *Applied Geochemistry*. 2009, 24. P. 1590–1601.
 25. Delbeque N., Dondeyne S., Gelaude F., Mouazen A. M., Vermeir P., Verdoodt A. Urban soil properties distinguished by parent material, land use, time since urbanization, and pre-urban geomorphology // *Geoderma*. 2022, 413, 115719.
 26. De Miguel E., Llamas J. F., Chacón E., Berg T., Larsen S., Røyset O., Vadset M. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead // *Atmospheric Environment*. 1997, 31. P. 2733–2740.
 27. Effland W. R., Pouyat R. V. The genesis, classification, and mapping of soils in urban areas // *Urban Ecosystems*. 1997, 1, pp. 217–228
 28. El Khalil H. E., Schwartz C., Hamiani O. E., Kubiniok J., Morel J. L., Boularbah A. Distribution of major elements and trace metals as indicators of technosolisation of urban and suburban soils // *J. of Soils and Sediments*. 2013, 13. P. 519–530.
 29. Galbraith J. M. Human-altered and human-transported (HAHT) soils in the U. S. soil classification system // *Soil Science and Plant Nutrition*. 2018, 64(2). P. 190–199.
 30. Gąsiorek M., Kowalska J., Mazurek R., Pająk M. Comprehensive assessment of heavy metal pollution in topsoil of historical urban park on an example of the Planty Park in Krakow (Poland) // *Chemosphere*. 2017, 179. P. 148–158/
 31. Greinert A. The heterogeneity of urban soils in the light of their properties // *J. of Soils and Sediments*. 2015, 15. P. 1725–1737.
 32. Howard J. Anthropogenic Soils. Series: Progress in Soil Science. Springer Int Publ., 2017. 237 p.
 33. Kabata-Pendias A., Mukherdjee A. B. Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. 561 p.
 34. Lehmann A., Stahr K. Nature and significance of anthropogenic urban soils // *J. of Soils and Sediments*. 2007, 7(4). P. 247–260.
 35. Luo X., Yu S., Zhu Y., Li X. Trace metal contamination in urban soils of China // *Sc. of the Total Environment*. 2012, 421–422. P. 17–30.
 36. Makki M., Thestorff K., Hilbert S., Thelemann M., Makowsky L. Guideline for the description of soils in the Berlin metropolitan area: an extension for surveying and mapping anthropogenic and natural soils in urban environments within the German soil classification system // *J. of Soils and Sediments*. 2021, 21. P. 1998–2012.
 37. Mao Q., Huang G., Buyantuev A., Wu J., Luo S., Ma K. Spatial heterogeneity of urban soils: the case of the Beijing metropolitan region, China // *Ecological Processes*. 2014, 3: 23.
 38. Matinian N. N., Bakhmatova K. A. Urban soils of Saint Petersburg (Russia). Europäische Akademie der Naturwissenschaften, Hannover, 2016. 28 p.
 39. Matinian N. N., Bakhmatova K. A., Sheshukova A. A. Anthropogenic and natural soils of urban and suburban parks of Saint Petersburg, Russia. // *Urbanization: Challenge and Opportunity for Soil Function and Ecosystem Services*. Conference proceedings, SUITMA 2017. Eds.: V. I. Vasenev, E. Dovletyarova, Z. Cheng et al. Book series Springer Geography. Springer Int. Publ., 2019. P. 212–220
 40. Matinian N. N., Bakhmatova K. A., Sheshukova A. A. Urban Soils in the Historic Centre of Saint Petersburg (Russia). // *Advances in Understanding Soil Degradation*. Eds.: Saljnikov, E., Mueller, L., Lavrishchev, A., Eulenstein, F. Springer Nature, 2021. P. 755–774.
 41. Mazurek R., Kowalska J., Gąsiorek M., Setlak M. Micromorphological and physico-chemical analyses of cultural layers in the urban soil of a medieval

- city — A case study from Krakow, Poland // *Catena*. 2016, 141. P. 73–84.
42. Pavao-Zuckerman M. A. Urbanization, soils and ecosystem services. // In: *Soil Ecology and Ecosystem Services*. First ed. Ed. By D. H. Wall et al. Oxford University Press, 2012.
43. Pickett S. T.A., Cadenasso M. L. Altered resources, disturbance, and heterogeneity: A framework for comparing urban and non-urban soils // *Urban Ecosystems*. 2009, 12, pp. 23–44.
44. Puskás L., Farsang A. Diagnostic indicators for characterizing urban soils of Szeged, Hungary // *Geoderma*. 2008, 148. P. 267–281.
45. Wong C. S.C., Xiangdong I., Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals // *Environmental Pollution*. 2006, 142. P. 1–16.