

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНОГЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ СОВРЕМЕННЫХ И ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВ ЖИЛЫХ РАЙОНОВ Г. ПЕРМИ

© 2024 г. Н. В. Москвина^{а, *}

^аПермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, Пермь, 614000 Россия

*e-mail: nvmoskvina@mail.ru

Поступила в редакцию 18.03.2024 г.

После доработки 01.07.2024 г.

Принята к публикации 02.07.2024 г.

В почвах жилых районов г. Перми установлены сходства и различия в морфологии и свойствах современных дневных и погребенных органогенных горизонтов. Они обусловлены функциональной ролью почвенного покрова в жилых районах, типом застройки, применением определенных строительных материалов. Различия проявляются в наличии и составе включений, содержании органического углерода, карбонатов, подвижных фосфатов, реакции среды. В погребенных органогенных горизонтах снижается интенсивность почвенного дыхания и активность инвертазы; в то же время в них сравнительно высока уреазная активность. При дополнительном внесении органического вещества в городские почвы в органогенных горизонтах возрастает содержание гуминовых кислот и степень гумификации органического вещества до высокой. В почвах, в которые не вносили органическое вещество, отмечаются черты зонального гумусообразования с низкой и средней степенью гумификации. С широким применением торфа для рекультивации и карбонатных строительных материалов усилился антропогенный вклад в цикл углерода.

Ключевые слова: городские почвы, активность ферментов, органическое вещество, Urbic Technosols

DOI: 10.31857/S0032180X24I20071, **EDN:** JDCQLU

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на планетарном уровне выделяют несколько форм органического вещества, среди которых обновляемый гумус — гумус современных дневных почв и фоссильный гумус — гумус погребенных почв и нижних горизонтов современных почв [18]. Очевидно, что обновляемый гумус дневных горизонтов и фоссильный — погребенных — будут иметь различия, обусловленные поступлением свежего органического вещества и процессами биоминерализации. Однако, если речь идет о городских почвах, на свойства органического вещества оказывает влияние еще множество факторов.

Почвы крупных городов имеют длительную историю развития. В их почвенном покрове отражены изменения ландшафтов, хозяйственного освоения территории, взаимодействия человека и природы. Наиболее глубокие отличия антропогенно-измененных почв от фоновых аналогов касаются, прежде всего, характеристик органического вещества [11]. Органическое вещество погребенных

городских почв может служить палеоархивом информации об антропогенном воздействии на почвы [41]. Количество антропогенно-измененных почв неуклонно возрастает, однако их эволюция может идти разными путями: это зависит от вида антропогенного воздействия [42].

Органогенные горизонты городских почв значительно варьируют по содержанию и составу органического вещества [1, 9, 21, 25, 29, 30]. Это объясняется многими факторами: формированием городских почв на разных почвообразующих породах, возрастом территории, функциональным назначением почв в городе, преобладающим характером антропогенной деятельности, наследованием органического вещества от зональных почв либо привносом органического вещества человеком с целью рекультивации территорий, антропогенным воздействием не только на собственно почвенный покров, но и трансформацией факторов почвообразования [3, 9, 18, 22, 25, 44].

Цель работы — изучение органогенных горизонтов современных и погребенных почв жилых районов г. Перми.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили дневные поверхностные горизонты современных почв, которые наиболее часто встречаются в незапечатанном почвенном покрове жилых районов, и погребенные органогенные горизонты, вскрытые при археологических раскопках исторического центра Перми. В общей сложности исследовано 9 погребенных органогенных горизонтов, более 50 современных дневных.

Несмотря на значительную площадь археологических раскопов, погребенные органические горизонты сохраняются редко, поскольку при любого рода воздействиях на почву поверхностные горизонты трансформируются в первую очередь. Часто почвенные горизонты без следов антропогенного воздействия и артефактов представлены срединными горизонтами и/или только материнской породой.

Исследования почвенного покрова проводили в жилой зоне многоэтажной застройки левобережной части города. Для территории города Перми, расположенного в долине р. Камы, характерна существенная неоднородность гранулометрического состава почвообразующих пород. Основными почвообразующими породами нижних террас р. Камы являются водно-ледниковые и древнеаллювиальные пески и супеси; в пределах высокой равнины — элювиально-делювиальные (покровные) тяжелые суглинки [9, 35]. Исторический центр города сформировался возле реки [17]. Большинство погребенных почв, вскрытых при археологических работах, имеет легкий гранулометрический состав. Для корректного сравнения погребенных и современных почв образцы современных почв отобрали на территориях урбопедокомплексов, сформированных на аналогичных почвообразующих породах [35, 38] (рис. 1).



Рис. 1. (а) — картосхема гранулометрического состава почвообразующих пород г. Перми по [35]; (б) — территория отбора части проб современных дневных почв; (с) — территория отбора части погребенных почв в историческом центре города. 1 — пески и супеси, 2 — породы среднего состава, 3 — породы среднего состава и двучлены, 4 — тяжелые суглинки и глины, 5 — тяжелые суглинки и глины с выходом коренных пород, 6 — тяжелые суглинки и глины с выходами песчано-галечников.

В образцах почв определили pH_{H_2O} — потенциометрически; содержание карбонатов — ацидиметрическим титрованием [32]; содержание органического углерода — по Тюрину; содержание подвижных фосфатов — колориметрически в вытяжке по Мачигину с $(NH_4)_2CO_3$; почвенное дыхание — по Галстяну; уреазную активность — фотометрически с реактивом Несслера после разложения мочевины; инвертазную активность — колориметрическим определением сахаров по Бертрану после внесения сахарозы, групповой состав гумуса по ускоренной схеме Кононовой—Бельчиковой [19].

Полученные данные статистически обрабатывали в программе PAST. Определили показатели разнообразия: диапазон варьирования, среднее и ошибку среднего, коэффициенты вариации. Достоверность различий оценивали по непараметрическому критерию Краскала—Уоллеса при уровне значимости $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфология. Большинство изученных профилей могут быть классифицированы как *Urbic Technosols* [43], имеют основной диагностический горизонт *urbic*, содержащий более 20% артефактов, среди которых 35% приходится на строительный мусор. В центральной части Перми мощность перекрывающего погребенные почвы материала составила более 50 см, поэтому их тоже отнесли к *Urbic Technosols*. В РФ городские почвы, имеющие диагностический горизонт *urbic*, отнесены к типам урбостратоземов [15, 27].

В России классификационное деление почв города во многом определяется особенностями их верхних горизонтов. Однако свойства верхнего горизонта почв могут быстро изменяться во времени, поэтому в системе WRB они используются для диагностики только в редких случаях. Горизонты городских почв, разделенные в русской классификации на урбиковые, серогумусовые, темnogумусовые и их различные модификации [15, 27], в международной диагностике обозначены как *Au* [28, 43].

При диагностике погребенных почв по классификации WRB (2014) почвы, погребенные под техногенными субстратами мощностью ≥ 50 см, не рассматриваются как полихронные, а отмечаются субквалификаторами как для единого профиля [28]. Классификация почв России более полно отражает генезис разнообразных городских почв, позволяет учесть разнообразные антропогенные трансформации [28].

При описании органогенных горизонтов в работе придерживались подходов, предложенных Прокофьевой с соавт. [27]. Рекультивационные городские слои-горизонты насыпного гумусового

материала RT и RAT рекомендовано включить в обновленную Классификацию почв России [33].

Органогенные горизонты современных почв жилых районов г. Перми:

RT — рекультивационный торфяной горизонт; насыпной, преимущественно состоящий из торфа материал, используемый для рекультивации и слабо измененный почвообразованием [27]. Применение торфа с целью рекультивации широко распространено в городах таежно-лесной зоны [27]. Для рекультивации почв жилых районов г. Перми используют низинный эуτροφный торф: черный, рассыпчатый, бесструктурный, с сохранившимися растительными остатками разной степени разложения. Мощность насыпного торфяного горизонта RT, как правило, не превышала 10 см. Для исследования использовали пробы из свежих, недавно отсыпанных торфяных горизонтов. Возраст исследованных горизонтов RT не превышал 5 лет, поскольку они очень быстро трансформируются в городской среде.

RAT — рекультивационный компостно-гумусовый горизонт, на поверхности урбостратоземов. Представляет собой насыпной компостный, торфо-компостный или гумусированный материал, используемый для рекультивации и слабо измененный почвообразованием. Неоднократное внесение органического вещества и перемешивание его с нижележащими слоями обеспечивает создание органо-минерального субстрата с оптимальной структурой, обеспечивающего возможность функционирования биоты, оптимизации водно-миграционных геохимических процессов [27]. Мощность описанных горизонтов RAT варьировала от 10 до 20 см. Темно-серый, комковато-зернистая структура, обилие корней растений, зоогенная проработка. По морфологии и свойствам в изученных современных дневных почвах горизонт RAT соответствует *mollic* в WRB [43]. Для диагностики горизонта *hortic* не всегда (редко) соблюдается условие по содержанию подвижного фосфора.

Торфяные рекультивационные горизонты RT и компостно-гумусовые рекультивационные горизонты RAT чаще всего диагностируются на поверхности рекультивированных почвоподобных тел (ТПО) — квазиезов (реплантоземов) либо на поверхности урбостратоземов техногенных, где они перекрывают горизонт *urbic*.

A_{Yur} — серогумусовый горизонт, на поверхности урбосерогумусовых почв. Серый/буро-серый, структура зернистая/комковатая, проработан корнями растений, антропогенные и биогенные включения (копролиты). Урбосерогумусовые почвы и урбостратоземы с компостно-гумусовыми горизонтами на поверхности сформированы во дворах жилых домов относительно старой застройки, в палисадниках, при неоднократном внесении

органогенного материала и перемешивании его с нижележащими слоями почвы.

URay — урбиковый горизонт с признаками гумусообразовательного процесса, на поверхности урбостратоземов техногенных. Цвет темно-бурый, серо-коричневый, комковатая/зернистая структура, включения гальки, щебня, бытового мусора. Многочисленные корни растений. Мощность описанных горизонтов URay составляла, как правило, до 10 см (в среднем около 5–7 см); время формирования — около 60–70 лет.

У погребенных почв описаны агрогумусовые и постагрогенные горизонты, а также серогумусовые горизонты зональных почв, которые в большинстве разрезов имеют признаки городского почвообразования.

[P] — агрогумусовые горизонты, коричнево-серого/серого до темно-серого цвета, комковатая структура, нижняя часть может быть более плотная, граница ровная (рис. 2а, 2б). Иногда нижняя граница ровная с характерными остроугольными выступами от лопаты. Возможны включения мелких 1–2 мм угольков, корневины, признаки зоогенной проработки. Мощность описанных горизонтов [P]

составляла около 30 см. В основном они были сформированы, по данным археологических исследований, до 1850 г. Горизонты могут быть диагностированы как hortic по WRB [43].

[AYra,ur] — серогумусовые постагрогенные горизонты. Отмечены изменения агрогоризонта в связи с выводом почвы из пахотного состояния и началом процессов городского почвообразования (появление большого количества включений антропогенного характера в верхней части горизонта), признаки срезания верхней части органогенного горизонта либо перемешивания его с насыпным почвогрунтом (рис. 2с). Горизонты [AYra,ur] имели меньшую мощность, чем погребенные агрогумусовые горизонты [P], вследствие преобразования их верхней части.

Возможно, в агрогумусовые/постагрогенные горизонты вносили золу как удобрение, так как часто включения были представлены мелкими фрагментами угольков, равномерно распределенными по горизонту.

[AYur] — серогумусовый погребенный горизонт, в верхней части включения строительного мусора, угольков, битого кирпича, признаки

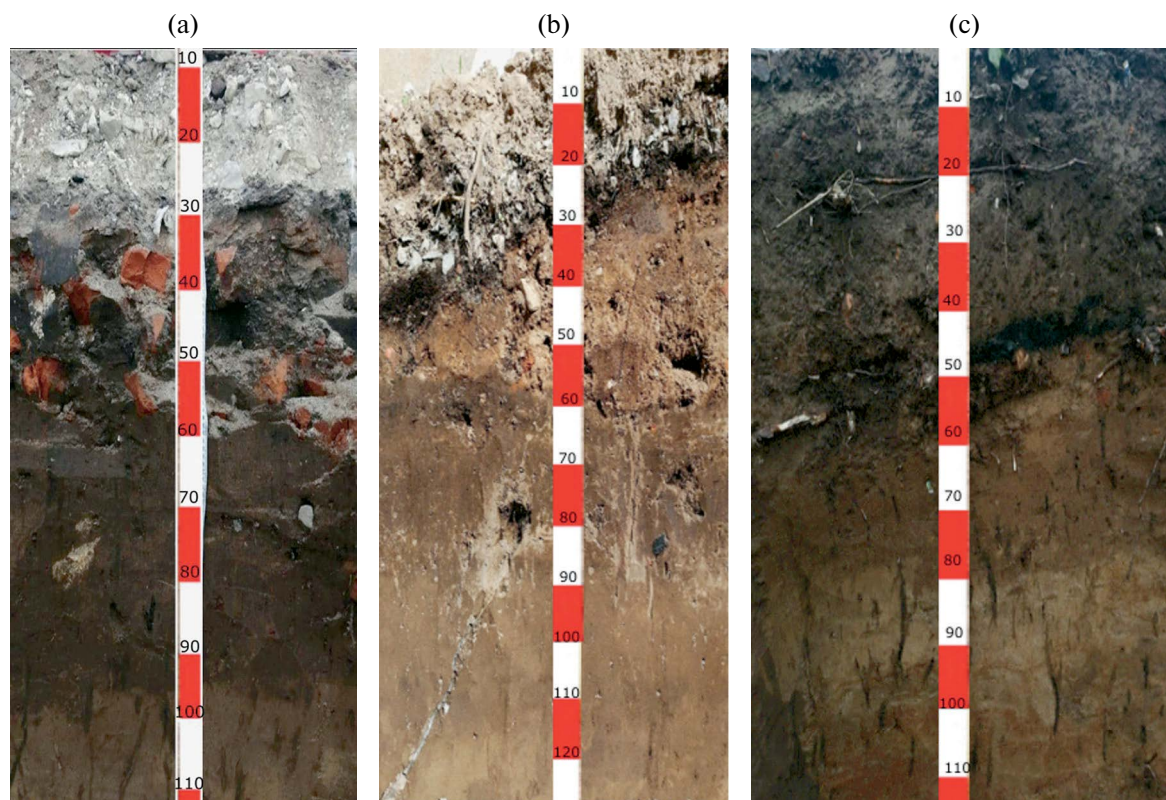


Рис. 2. (а) — урбостратозем техногенный карбонатный на агродерново-подзолистой почве, горизонт [P] (63–95 см); (б) — урбостратозем техногенный карбонатный на техногенных отложениях, перекрывающих агрозем иллювиально-гумусовый, горизонт [P] (57–88 см); (с) — урбостратозем техногенный карбонатсодержащий на урбодерново-подзолистой постагрогенной почве, горизонт [AYra,ur] (64–80 см).

перемешивания верхней части этого горизонта с вышележащим (рис. 3а, 3б).

Реакция среды. В современных органогенных горизонтах реакция среды варьировала от кислой (в свежих торфяных горизонтах RT квазиземов) до слабощелочной (табл. 1).

Реакция среды в погребенных органо-гумусовых горизонтах варьировала от слабокислой до слабощелочной, в основном была нейтральной. Только в трех горизонтах из девяти погребенных рН был > 7 — в горизонтах с антропогенными включениями на поверхности.

Содержание карбонатов. В современных поверхностных органогенных горизонтах наибольшее содержание карбонатов было в компстно-гумусовых горизонтах RAT; наименьшее — в горизонтах RT квазиземов торфяных. В свежих торфяных слоях содержание карбонатов минимально, но с возрастом они накапливаются в поверхностных слоях газонов.

В большинстве погребенных органогенных горизонтов содержание CO_2 было менее или близко к 1%. Наибольшим содержанием карбонатов отличались горизонты с квалификатором *ur*, имеющие большое количество антропогенных включений в

верхней части. Карбонаты могли попадать в почву из верхних слоев в условиях промывного водного режима, либо с золой, которую использовали как удобрение. В погребенных почвах древних поселений прослой золы бурно вскипают от HCl и являются важным источником карбонатов в органических культурных слоях [8]. Почвообразующие породы камских террас в пределах территории исследований некарбонатны (древнеаллювиальные пески и супеси).

Содержание органического углерода. В современных почвах жилых районов г. Перми максимальным содержанием органического углерода отличались органогенные горизонты RT квазиземов торфяных ($> 10\% \text{C}_{\text{орг}}$), минимальным — горизонты URau урбостратоземов техногенных (в среднем $2.7\% \text{C}_{\text{орг}}$). В погребенных органогенных горизонтах содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ в среднем составило $5.37 \pm 1.65\%$.

Дополнительное внесение органического вещества в виде торфа, компоста приводит к увеличению содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ в поверхностных горизонтах городских почв по сравнению с зональными почвами. Площадь городских почв, рекультивированных с применением насыпных органических

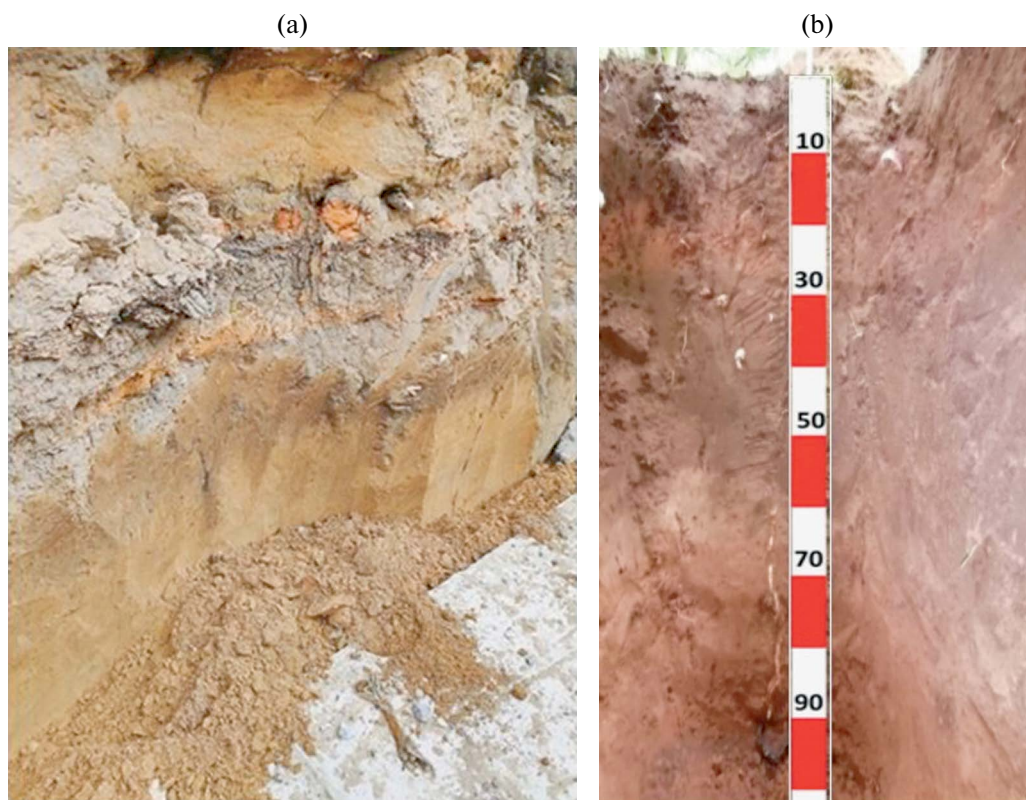


Рис. 3. (а) — урбостратозем техногенный карбонатный на урбосерогумусовой глееватой почве, горизонт [AYur] (190–208 см); (б) — серогумусовая урбистратифицированная маломощная почва на техногенных отложениях, подстилаемая урбодерново-подзолистой почвой, горизонт [AYur] (26–58 см).

Таблица 1. Физико-химические свойства и биологическая активность современных и погребенных органо-генных горизонтов почв г. Перми, над чертой – диапазон, под чертой – среднее \pm ошибка

Показатель	Современные органо-генные горизонты			Погребенные органо-генные горизонты [AYur; P; AYpa, ur]
	урбостратоземы техногенные URay	урбосерогумусовые, урбостратоземы AYur, RAT	квазиземы торфяные RT	
pH	<u>6.90–7.40</u> 7.20 \pm 0.15	<u>6.97–7.90</u> 7.35 \pm 0.16	<u>4.20–7.25</u> 5.91 \pm 0.53	<u>6.17–7.81</u> 6.97 \pm 0.19
CO ₂ карб, %	<u>0.66–2.36</u> 1.52 \pm 0.49	<u>2.14–3.30</u> 2.72 \pm 0.58	<u>0.35–2.53</u> 1.24 \pm 0.36	<u>0.24–2.32</u> 1.07 \pm 0.20
C _{орг} , %	<u>2.31–3.03</u> 2.74 \pm 0.22	<u>4.86–6.96</u> 6.06 \pm 0.45	<u>9.85–22.08</u> 12.24 \pm 2.22	<u>2.49–13.83</u> 5.37 \pm 1.65
P ₂ O ₅ , мг/100 г	<u>8.16–13.82</u> 9.82 \pm 0.12	<u>4.99–14.68</u> 9.68 \pm 2.71	<u>0.55–10.11</u> 4.82 \pm 1.31	<u>25.70–36.70</u> 32.12 \pm 2.25
Дыхание, мг CO ₂ /(100 г почвы 24 ч)	<u>16.50–37.50</u> 27.0 \pm 10.50	<u>2.80–61.30</u> 37.53 \pm 12.40	<u>24.70–77.60</u> 49.70 \pm 10.46	<u>0.09–8.80</u> 2.29 \pm 0.88
Уреаза, мг N–NH ₄ /(10 г почвы 24 ч)	<u>4.90–15.00</u> 8.47 \pm 3.27	<u>1.80–26.60</u> 12.98 \pm 5.59	<u>1.10–13.20</u> 5.97 \pm 1.70	<u>2–24.70</u> 14.44 \pm 1.91
Инвертаза, мг глюкозы/(г почвы 24 ч)	<u>17.50–17.80</u> 17.60 \pm 0.10	<u>17.20–17.50</u> 17.35 \pm 0.15	<u>17.40–18.00</u> 17.7 \pm 0.17	<u>0–16.7</u> 4.74 \pm 1.95

субстратов, может быть значительна, особенно в современных жилых районах. Однако широкое применение торфа и торфо-компостных смесей не было распространено в ранние периоды истории города. Не обнаружено погребенных горизонтов RT в историческом центре Перми. По-видимому, дополнительным источником органического вещества для почв придомовых и приусадебных участков были навоз и органические пищевые остатки.

Содержание подвижного фосфора. Повышенное содержание подвижного фосфора (100–200 мг/кг) является одним из диагностических признаков горизонта *урбик* (UR) городских почв. Превышение содержания обычно связано со скоплением специфических материалов культурного слоя, например навоза или фекалий [27]. Фосфор, как ни один другой элемент, является чувствительным, устойчивым и надежным индикатором антропогенной деятельности. Причины роста его содержания в почве связаны с поступлением экскрементов и остатков пищи (особенно костей, мяса, рыбы), растений и золы [26, 44].

И современные, и погребенные органо-генные горизонты имеют высокую степень обеспеченности подвижными фосфатами [19]. Максимальным содержанием подвижных фосфатов отличались погребенные органо-генные горизонты (в среднем 32 мг/100 г почвы) в вытяжке с углекислым

аммонием. При оценке распределения подвижных фосфатов по профилю погребенных почв отмечен максимум в погребенных органических горизонтах.

В современных дневных органо-генных горизонтах содержание подвижных фосфатов было заметно меньше в поверхностных слоях AYur, RAT, URay, и еще ниже – в горизонтах RT.

Считаем, что повышенное содержание подвижных фосфатов в погребенных органо-генных горизонтах может быть связано с применением навоза и золы в качестве удобрений, а также содержанием домашних животных и привносом органического мусора.

Почвенное дыхание. Максимальной интенсивностью почвенного дыхания отличались современные горизонты RT квазиземов торфяных. В поверхностных слоях урбостратоземов техногенных интенсивность дыхания была гораздо ниже (рис. 4а). По-видимому, в торфяных слоях RT идет активная минерализация торфа и разложение органики. В работе [39] показано, что эмиссия CO₂ газонами может быть выше по сравнению с зональными почвами. Исследования [6] показали, что городские почвенные конструкции с гумусово-аккумулятивными горизонтами являются меньшими эмитентами углерода в атмосферу по сравнению с конструкциями, в которых применяется торфо-компостная

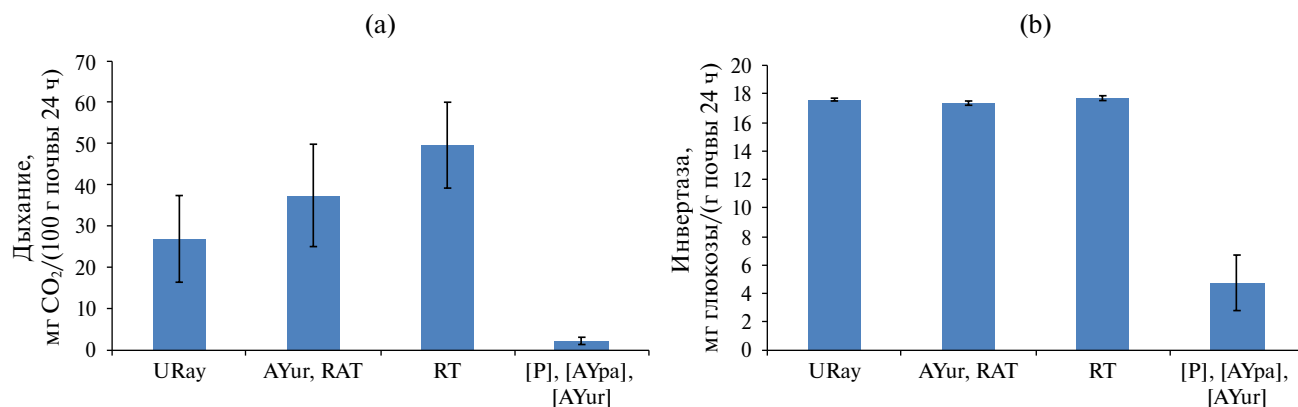


Рис. 4. (а) — почвенное дыхание в современных и погребенных органогенных горизонтах; (б) — активность инвертазы в современных и погребенных органогенных горизонтах.

смесь. Интенсивность выделения CO₂ с ТПО, рекультивированных торфяно-минеральными субстратами, может достигать весьма высоких значений [20].

В погребенных органогенных горизонтах интенсивность почвенного дыхания существенно ниже, однако присутствует некий максимум в профиле на уровне погребенных органогенных горизонтов. Исследованные погребенные органогенные горизонты находились на глубине около 1 м или более, т.е. в анаэробных условиях, с этим может быть связана минимальная интенсивность почвенного дыхания.

Активность инвертазы. Известно, что при поступлении в почву какого-либо органического субстрата изменяются количественные показатели почвенного микробного сообщества и ферментативная активность почв. Ферменты могут сохранять активность в сельскохозяйственных почвах в течение сотен лет, например, при внесении органических удобрений и навоза [14, 34, 37].

В составе растительных остатков, поступающих в почву, содержится до 60% углеводов (моно-, ди- и полисахаридов). Инвертаза — фермент, катализирующий расщепление сахарозы до глюкозы и фруктозы [19]. Активность инвертазы отражает плодородие и биологическую активность почв, четко коррелирует с содержанием гумуса и почвенным плодородием [13].

Поверхностные органогенные горизонты современных почв отличались гораздо большей активностью инвертазы по сравнению с погребенными органо-гумусовыми горизонтами (рис. 4б).

Низкая активность инвертазы в погребенных почвах может быть связана с отсутствием поступления свежего органического вещества, стабилизацией процессов минерализации органического вещества.

Все анализируемые поверхностные горизонты современных почв имеют близкие результаты по активности инвертазы, значимых различий в горизонтах RT, RAT и AYur, URa не установлено (по критерию Краскала–Уоллеса, при $p < 0.05$). Активность инвертазы в современных органогенных горизонтах может быть оценена как средняя по шкале степени обогащенности почв Звягинцева [12]. Погребенные органогенные горизонты бедны инвертазой [12].

Активность уреазы. Уреаза — фермент, катализирующий гидролиз мочевины. Конечными продуктами гидролиза являются аммиак и углекислый газ. Аммонификация осуществляется многочисленными аэробными и анаэробными почвенными микроорганизмами и происходит во всех почвах при разной реакции среды, однако замедляется в анаэробных условиях и при сильнокислой и щелочной реакциях. Мочевина попадает в почву в составе растительных остатков, навоза и как азотное удобрение. Она образуется и в самой почве в качестве продукта превращения азотистых органических соединений: белков и нуклеиновых кислот. Уреазную активность очень часто определяют в палеоархеологических исследованиях, как и содержание фосфора и активность фосфатазы. Повышение уровня уреазной активности почвы характерно для мест компактного проживания людей и содержания скота [4, 34].

У современных почв наибольшая уреазная активность отмечается в поверхностных слоях RAT и AYur урбостратоземов и урбосерогумусовых почв, что объясняется ежегодным поступлением достаточно большой массы растительных остатков. По шкале обогащенности почв ферментами Звягинцева [12], эти почвы имеют среднюю уреазную активность. В торфяных слоях квазиземов самая низкая уреазная активность из современных

органогенных слоев; возможно, это связано с кислой реакцией среды. По [12] они бедны уреазой.

Уреазная активность погребенных органогенных горизонтов достоверно выше (критерий Краскала–Уоллеса, $p < 0.05$), чем в современных поверхностных слоях RT, RAT и AYur. Это может быть связано с применением навоза в качестве органического удобрения (агрогумусовые, постагрогенные горизонты) [34]. По шкале Звягинцева погребенные почвы имеют среднюю обогащенность уреазой.

Степень гумификации органического вещества. Вопрос о существовании в почве особых специфических гуминовых веществ дискуссионен, как и вопрос существования отдельных фракций гуминовых кислот (ГК), фульвокислот (ФК) и гумина. Большой массив данных по этим проблемам обобщен в обзоре [10]. Однако выделение операционных фракций ГК, ФК и гумина с целью снижения гетерогенности веществ гумуса прочно вошло в практику химии гумуса, несмотря на признаваемую условность такого подхода [16]. Если рассматривать исторические названия гумусовых фракций (ГК, ФК, гумин) как краткие групповые понятия и названия препаратов, полученных определенным способом экстракции, не придавая этим фракциям значения особых специфических веществ, то возможно использовать такие общепринятые соотношения как $C_{ГК}/C_{орг}$ (или $C_{ГК}/C_{ФК}$) для характеристики типов гумуса [10].

Исследования показали, что при дополнительном внесении органического вещества и окультуривании поверхностных горизонтов почв возрастает содержание фракции ГК, извлекаемое по ускоренной схеме Кононовой–Бельчиковой. Соответственно, возрастает степень гумификации органического вещества, рассчитываемая как соотношение $C_{ГК}/C_{общ} \times 100\%$ [24]. При варьировании показателя степени гумификации от 20 до 30% она может быть отнесена к средней категории, от 30 до 40% и больше – к высокой, >40% – к очень высокой [23, 24].

Степень гумификации очень высокая (>90%) в горизонтах RT квазиземов торфяных; в торфо-компостных и серогумусовых горизонтах RAT, AYur она варьирует от 37 до 90% и также относится к высокой и очень высокой [24]. Наименьшие показатели соотношения $C_{ГК}/C_{общ}$ исследованных современных почв отмечены в поверхностных горизонтах URay урбостратоземов техногенных, имеющих возраст 60–70 лет, в которые дополнительно не вносят органическое вещество с целью рекультивации. Степень гумификации варьирует в них от 20 до 33%, что относится к средней категории (рис. 5).

Такая тенденция отмечена и для погребенных органогенных горизонтов. В агрогумусовых

погребенных горизонтах степень гумификации высокая, составляет 30–38%, в постагрогенных горизонтах она снижается по сравнению с погребенными агрогумусовыми до 27%; в погребенных серогумусовых горизонтах зональных почв варьирует от 13 до 21%, что соответствует слабой степени гумификации [23, 24].

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что существуют различия между органическим веществом современных и погребенных почв жилых районов г. Перми. Они проявляются как в морфологии, так и в свойствах органогенных горизонтов и связаны с разной функциональной ролью почвы в контексте истории развития города.

Не обнаружено погребенных торфяных слоев – аналогов современных горизонтов RT квазиземов, создаваемых при благоустройстве. Однако вскрыто много агрогумусовых и постагрогенных горизонтов. По строению и функциональному назначению погребенных почв центральная часть города похожа на современные районы с малоэтажной частной застройкой, где около домов есть приусадебные участки [9].

Отмечены различия в химических свойствах органогенных горизонтов. Бóльшее содержание карбонатов и сдвиг реакции среды в щелочную сторону в современных органогенных горизонтах связаны с историей развития города. Очень продолжительное время, с момента основания Перми в 1723 г., основным строительным материалом было дерево. Так, к моменту грандиозного пожара 1842 г., когда практически полностью выгорела центральная часть города, в Перми было всего 38 каменных и 1090 деревянных дома [2, 17]. После пожара Пермь начала отстраиваться. Началось

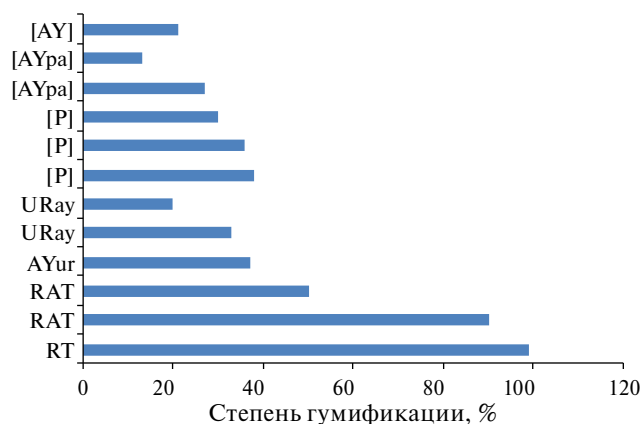


Рис. 5. Степень гумификации ($C_{ГК}/C_{общ} \times 100\%$) в органогенных горизонтах современных и погребенных почв жилых районов г. Перми.

массовое строительство домов из красного глиняного формованного кирпича. Из кирпича строили либо целые дома, либо первый этаж двух-, трехэтажных домов, либо между деревянными домами возводили брандмауэры — кирпичные стены, препятствующие распространению пожаров. Кирпич производился из глины на территории Пермской губернии. К 1887 г. в городе действовали 8 кирпичных и глинообжигательных заводов [17]. Позднее технология изготовления кирпича изменилась. На смену красному глиняному кирпичу пришел более дешевый серый силикатный, основными компонентами которого являются песок, известь и вода. Смену типа застройки можно проследить в том числе и при изучении погребенных почв в центральной части Перми. Раскопки вскрывают либо погребенные деревянные конструкции, либо в почвах центральных районов встречаются обломки зданий из красного глиняного кирпича. Современные районы застроены в основном с применением карбонатных строительных материалов — силикатного кирпича, бетонных панелей. С 2000-х гг. применяется технология монолитно-каркасного строительства. Применение карбонатных строительных материалов и антигололедных средств способствует сдвигу реакции среды в щелочную сторону.

Погребенные органогенные горизонты, как и в целом профили погребенных почв периода деревянной застройки города, менее карбонатны и содержат меньше труднорастворимых включений строительных материалов (щебень, кирпич, пластик, стекло и др.). Сдвиг реакции среды в щелочную сторону в более молодых в историческом плане почвенных горизонтах отмечен во многих работах [1, 28, 36, 40].

Характерными включениями для почв центральной части города являются уголь и зола. Преимущественное использование дерева для строительства и отопления на протяжении как минимум 200 лет истории города привело к тому, что в погребенных почвах встречаются как следы многочисленных пожаров, так и дерево, обугленное в результате биологических процессов в условиях переменной влажности, превратившееся в торфянистую массу, что тоже обычно для городов таежной зоны [7]. Угlistое вещество (=black carbon [46]) образуется в результате неполного сгорания органических материалов. Эта форма органического углерода сохраняется в почве в течение очень длительного времени [11], надолго исключая углерод из биологического круговорота [46]. В то же время черный уголь является сорбентом многих химических элементов, в том числе поллютантов [46]. Включения угля и золы практически отсутствуют в дневных почвах современных районов.

По-видимому, эволюция почвенного покрова и культурного слоя имеет сходную направленность в

городах таежно-лесной зоны. Антропогенное воздействие на почвы начинается с формирования пахотных горизонтов; затем появляются следы деревянного домостроения, характерные включения щепы и навоза в культурном слое. Их сменяет литогенный горизонт с обломками красного глиняного кирпича, и, наконец, современные почвы с дневными горизонтами, содержащие много включений карбонатных строительных материалов и нередко запечатанные асфальтом [36].

Изменение типа гумуса в гуматную сторону в окультуренных городских почвах отмечено многими исследователями [1, 11, 21, 29, 30]. Изучение интенсивно окультуренных почв древних городов в лесной зоне показало, что в них увеличена доля гуминовых кислот (особенно связанных с Ca) и уменьшена доля свободных фульвокислот [18, 31]. В работе [30] отмечено накопление ГК в верхних гумусово-аккумулятивных горизонтах почв ботанического сада МГУ, особенно рекультивированных. При этом показана не характерная для естественных дерново-подзолистых почв средняя или высокая степень гумификации органического вещества (от 20 до 45%) как специфическая черта органического вещества городских почв, особенно тех, где отсутствует уборка опада. Также авторы указали на высокую степень гумификации в высоко окультуренных пахотных горизонтах, погребенных под современными городскими почвами. Накоплению ГК в верхних горизонтах способствует поступление карбонатов [30].

Результаты настоящих исследований показали, что в городских почвах, особенно окультуренных и рекультивированных, повышено содержание гуминовых кислот; степень гумификации органического вещества высокая и очень высокая (от 30 до 90%), в отличие от почв, где отсутствует значительное дополнительное поступление органического вещества на поверхность — степень гумификации органического вещества в них слабая и средняя (до 35%).

Данные по содержанию органического углерода, дыханию почвы и ферментативной активности позволяют сделать вывод о различном вкладе антропогенного фактора в геохимическую миграцию и циклы основных элементов-органогенов в разные периоды истории города. С широким применением торфа для рекультивации и карбонатных материалов для строительства усилился антропогенный вклад в цикл углерода (о чем свидетельствуют максимальные показатели содержания органического вещества, почвенного дыхания поверхностных слоев квазиземов, высокая активность инвертазы, содержание карбонатов). В то же время в более ранние периоды истории города, когда придомовые участки использовались для сельскохозяйственных целей и в городе содержали большое количество домашних животных (лошади — основное средство

передвижения, собаки, кошки, домашняя птица), в почву вносились органические удобрения, остатки пищи и компост — оказывалось антропогенное воздействие на циклы азота и фосфора, что проявляется в повышенной уреазной активности и повышенном содержании фосфатов в погребенных почвах.

Техносоли, в том числе Urbic Technosols, могут иметь полициклическую или сложную эволюцию, обусловленную последовательным отложением материала или нарушениями, изменяющими направление педогенеза и запись более ранних процессов в погребенных материалах [42]. Более активно в городе идет преобразование поверхностных горизонтов. Они выступают ареной взаимодействия природных и разнообразных антропогенных факторов почвообразования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Органогенные горизонты современных почв формируются либо при естественном самозаращении почвогрунтов, либо при внесении органического вещества с целью рекультивации почв. Органогенные горизонты погребенных почв представлены погребенными серогумусовыми горизонтами зональных почв либо агрогумусовыми/постагрогенными горизонтами, что обусловлено типом застройки и функциональным использованием почвенного покрова в ранние периоды истории города.

В современный период истории города в качестве дополнительного источника органического вещества для городских почв широко применяются торф и торфо-компостные смеси. В ранние периоды истории города дополнительным источником органического вещества служили навоз, компост, органические бытовые отходы. Не обнаружено погребенных торфяных горизонтов RT, широко встречающихся на поверхности современных газонов.

Современные органогенные горизонты резко различаются по реакции среды. В большинстве из них отмечается сдвиг в щелочную сторону в связи с применением карбонатных строительных материалов, антигололедных средств. Почвы содержат карбонаты (в среднем 1.5–3% CO_2 в разных типах почв), имеют повышенную и высокую степень обеспеченности подвижным фосфором — 50–100 мг/кг. Содержание органического углерода в современных органогенных горизонтах городских почв больше, чем в зональных почвах; в окультуренных с применением торфа и торфо-компостных смесей почвах оно превышает 10% $\text{C}_{\text{орг}}$. Погребенные органогенные горизонты менее карбонатны (до 1% CO_2), имеют преимущественно нейтральную реакцию среды, что может быть связано с менее масштабным применением карбонатных строительных материалов в первые два

столетия истории города. Содержание гумуса среднее, от 3 до 5% $\text{C}_{\text{орг}}$. Содержание подвижных фосфатов намного больше, чем в современных органогенных горизонтах (в среднем около 300 мг/кг), что объясняется применением органических удобрений, золы, содержанием домашних животных, а также привносом органического мусора.

В погребенных органогенных горизонтах величина содержания органического вещества стабилизируется, снижается биологическая активность и активность инвертазы, что связано с отсутствием поступления свежего органического вещества и анаэробными условиями. В то же время уреазная активность в них выше, чем в современных органогенных горизонтах (до 15 мг $\text{N}-\text{NH}_4/(10 \text{ г почвы } 24 \text{ ч})$), что соответствует среднему уровню обогащенности уреазой по шкале Звягинцева).

Существуют различия во вкладе антропогенного фактора в геохимическую миграцию и циклы основных элементов-органогенов в разные периоды истории города. С широким применением торфа для рекультивации и карбонатных материалов для строительства усилился антропогенный вклад в цикл углерода.

В поверхностных органогенных горизонтах окультуренных и рекультивированных городских почв отмечено увеличение доли гуминовых кислот, степень гумификации органического вещества высокая. В урбостратоземах техногенных, где происходят процессы самозаращения поверхности, а также в почвах без дополнительного внесения органического вещества, отмечаются черты зонального гумусообразования, с меньшим содержанием гуминовых кислот и средней степенью гумификации органического вещества.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает искреннюю благодарность руководителю ООО “Экспедиция” Игорю Анатольевичу Козмирчуку, а также сотрудникам Камской археологической экспедиции Марии Константиновне Мингалевой и Людмиле Васильевне Романовой за возможность проведения исследований во время археологических работ, а также за ценные консультации по истории Перми.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Пермского государственного национального исследовательского университета в области фундаментальных научных исследований.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю., Булышева А.М., Лазарева М.А.* Гумусовые горизонты почв урбоэкосистем // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1071–1084. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18090010>
2. *Верхоланцев В.С.* Город Пермь: его прошлое и настоящее. Пермь, 1913. 202 с.
3. *Водяницкий Ю.Н.* Органическое вещество в городских почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2015. № 8. С. 921–931. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15080110>
4. *Гак Е.И., Борисов А.В.* Опыт комплексных археолого-палеопочвенных исследований поселения эпохи средней бронзы Рыкань-3 (лесостепное Подонье) // Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия. Матер. Междисциплинар. науч. конф. М., 2018. С. 43–48.
5. *Горбов С.Н., Безуглова О.С.* Специфика органического вещества почв Ростова-на-Дону // Почвоведение. 2014. № 8. С. 953–962. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14080048>
6. *Горбов С.Н., Васенев В.И., Минаева Е.Н., Тагивердиев С.С., Скрипников П.Н., Безуглова О.С.* Краткосрочная динамика эмиссии CO₂ и содержания углерода в городских почвенных конструкциях степной зоны // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1103–1115. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600282>
7. *Долгих А.В., Александровский А.Л.* Почвы и культурный слой Великого Новгорода // Почвоведение. 2010. № 5. С. 515–526.
8. *Долгих А.В., Петров М.И., Александровский А.Л.* Культурный слой средневекового Новгорода: формирование, преобразование, современный облик // Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия. Матер. Междисциплинар. науч. конф. М., 2018. С. 57–63.
9. *Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В.* Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь, 2016. 252 с.
10. *Заварзина А.Г., Данченко Н.Н., Демин В.В., Артемьева З.И., Когут Б.М.* Гуминовые вещества — гипотезы и реальность (обзор) // Почвоведение. 2021. № 12. С. 1449–1480. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120169>
11. *Зазовская Э.П.* Палеоурбаноэмы раннесредневековых предгородских центров: генезис и устойчивость. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2013. 23 с.
12. *Звягинцев Д.Г.* Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
13. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биология почв Юга России. Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
14. *Каширская Н.Н., Плеханова Л.Н., Удальцов С.Н., Чернышева Е.В., Борисов А.В.* Механизмы и временной фактор функционирования ферментативной организации палеопочв // Биофизика. 2017. Т. 62. № 6. С. 1235–1244.
15. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
16. *Кононова М.М.* Органическое вещество почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.
17. *Корчагин П.А.* Губернская столица Пермь. Пермь: Кн. мир, 2006. 318 с.
18. *Кунгурцев А.Я.* Особенности формирования гумусного состояния почв на примере археологических памятников лесостепной зоны Южного Урала. Дис. ... канд. геогр. наук. Уфа, 2022. 171 с.
19. *Минеев В.Г.* Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
20. *Можарова Н.В., Кулачкова С.А., Лебедь-Шарлевич Я.И.* Образование, поглощение, эмиссия парниковых газов городскими почвами и ТПО на(над) техногенно-рекрементогенных и природных отложениях Москвы и ближайшего Подмосковья // Почвоведение — продовольственной и экологической безопасности страны. Тез. докл. VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всерос. с междунар. участием науч. конф. Белгород, 15–22 августа 2016 года. Белгород, 2016. Т. 1. С. 304–305.
21. *Москвина Н.В., Шестаков И.Е., Митракова Н.В.* Органическое вещество почв и техногенных поверхностных образований селитебных районов г. Перми // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. № 5. http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/5/st_527.pdf
22. *Москвина Н.В.* Урбостратоземы жилых многоэтажных районов г. Перми: формирование, трансформация и оценка экологического состояния // АгроЭкоИнфо. 2022. № 3(51). <https://doi.org/10.51419/202123310>
23. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С.* Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–924.
24. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.* Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 258 с.
25. *Попутников В.О.* Тенденции антропогенной трансформации автоморфных почв территорий

- городских парков и прилегающих жилых кварталов. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 28 с.
26. *Потанова А.В., Гак Е.И., Каширская Н.Н., Борисов А.В.* Биологический и минеральный фосфор в культурных слоях поселения среднедонской катакомбной культуры Ксизово-1 // Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия Матер. Междисциплинар. науч. конф. М., 2018. С. 139–145.
27. *Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жаринова Е.А., Матиян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е.* Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14100104>
28. *Прокофьева Т.В., Герасимова М.И.* Городские почвы: диагностика и классификационное определение по материалам научной экскурсии конференции SUITMA-9 по Москве // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1057–1070.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X18090095>
29. *Прокофьева Т.В., Розанова М.С., Попутников В.О.* Некоторые особенности органического вещества почв на территориях парков и прилегающих жилых кварталов Москвы // Почвоведение. 2013. № 3. С. 302–314.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X13030076>
30. *Розанова М.С., Прокофьева Т.В., Лысак Л.В., Рахлеева А.А.* Органическое вещество почв Ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова на Ленинских горах // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1079–1092.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X16090124>
31. *Рюмин А.Г., Торопкина М.А., Чуков С.Н.* Гумусовые вещества в погребенных почвах: эволюция, структура, свойства // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны. Тез. докл. VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. Белгород, 15–22 августа 2016 года. Белгород, 2016. Т. 1. С. 55–56.
32. Химический анализ почв. СПб.: Изд-во СПб. Унта. 1995. 264 с.
33. *Хитров Н.Б., Герасимова М.И.* Диагностические горизонты в классификации почв России: версия 2021 г. // Почвоведение. 2021. № 8. С. 899–910.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X21080098>
34. *Чернышева Е.В.* Влияние древнего антропогенного воздействия на биологическую активность почв Кисловодской котловины. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2015. 24 с.
35. *Шестаков И.Е., Еремченко О.З., Филькин Т.Г.* Картографирование почвенного покрова городских территорий на примере г. Пермь // Почвоведение. 2014. № 1. С. 12–21.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14010109>
36. *Alexandrovskaya E.I., Alexandrovskiy A.L.* History of the cultural layer in Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it // Catena. 2000. V. 41(1). P. 249–259.
[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00107-7)
37. *Dick R.P., Sandor J.A., Eash N.S.* Soil enzyme activities after 1500 years of terrace agriculture in the Colca Valley, Peru // Agriculture, Ecosystems and Environment. 1994. V. 50(2). P. 123–131.
[https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90131-7](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90131-7)
38. *Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V., Moskvina N.V.* Phytotesting of the soils of urban pedocomplexes in residential areas of Perm, Russia // Appl. Ecol. Environ. Res. 2019. V. 17(2). P. 3179–3197.
https://doi.org/10.15666/aeer/1702_31793197
39. *Groffman P.M., C.O. Williams, R.V. Pouyat, L.E. Band, I.D. Yesilonis.* Nitrate leaching and nitrous oxide flux in urban forests and grasslands // J. Environ. Qual. 2009. V. 38. P. 1848–1860.
<https://doi.org/10.2134/jeq2008.0521>
40. *Hulisz P., Charzyński P., Greinert A.* Urban soil resources of medium-sized cities in Poland: a comparative case study of Toruń and Zielona Góra // Journal of Soils and Sediments. 2018. V. 18(2). P. 358–372.
<https://doi.org/10.1007/s11368-016-1596-x>
41. *Huot H., Faure P., Biache C., Lorgeoux C., Simonnot M.-O., Morel J.L.* A Technosol as archives of organic matter related to past industrial activities // Sci. Total Environ. 2014. V. 487. P. 389–398.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.047>
42. *Huot H., Simonnot M.-O., Morel J.L.* Pedogenetic trends in soils formed in technogenic parent materials // Soil Sci. 2015. V. 180(4/5). P. 182–192.
<https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000135>
43. IUSS Working Group WRB. (2014) World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
44. *Markiewicz M., Bednarek R., Jankowski M., Świtonik M.* ‘Paleotechnosols’ of ancient settlements in Grodno and Kałdus // Technogenic soils of Poland. Toruń: Polish Society of Soil Science, 2013. P. 111–122.
45. *Nayak N., Mehrotra R., Mehrotra S.* Carbon biosequestration strategies: a review // Carbon Capture Sci. Technol. 2022. V. 4. P. 100065.
<https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100065>
46. *Nehls T., Shaw R.K.* Black carbon in soils: Relevance, analysis, distribution. Soil Survey Horizons. 2010. V. 51. P. 79–84.
<https://doi.org/10.2136/sh2010.3.0079>

Features of Organogenic Horizons of Modern and Buried Soils of Residential Areas of the Perm City

N. V. Moskvina^{1, *}

¹Perm State University, Perm, 614000 Russia

**e-mail: nvmoskvina@mail.ru*

The history of the city is reflected in the memory of modern and buried soils, especially their organogenic horizons, since it is the surface horizons that are most strongly affected by anthropogenic impacts. Similarities and differences in morphology and properties of modern and buried organogenic horizons have been established in the soils of residential areas of Perm. They are conditioned by the functional role of the soil cover in residential areas, type of construction, use of certain building materials. The differences are manifested in the presence and composition of inclusions, the content of organic carbon, carbonates, mobile phosphates, pH level. In buried organogenic horizons, the intensity of soil respiration and invertase activity decreases; at the same time, urease activity is relatively high in them. Additional application of organic matter to urban soils leads to an increase in the content of humic acids in organogenic horizons and an increase in the degree of humification of organic matter to a high level; in soils without organic matter application, the features of zonal humification with a low and medium degree of humification are reproduced. The anthropogenic contribution to the carbon cycle has increased with the widespread use of peat for reclamation and carbonate building materials.

Keywords: urban soils, enzyme activity, organic matter, Urbic Technosols