

Опыт изучения трансформации подзолистых почв в условиях городской среды Севера

© 2024. Т. В. Прокофьева¹, к. б. н., доцент, И. Е. Смирнова¹, к. б. н., доцент,
Е. М. Лаптева², к. б. н., зав. отд. почвоведения,
Е. В. Жангуров², к. с.-х. н., с. н. с., Ю. В. Холопов², к. б. н., н. с.,
¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,
²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: tatianaprokofieva@yandex.ru, lapteva@ib.komisc.ru

В статье представлены результаты исследований почв одного из средних по величине городов европейского северо-востока России – г. Сыктывкара (Россия, Республика Коми, подзона средней тайги). Рассмотрен ряд от типичной для региона подзолистой с микропрофилем подзола почвы (Albic Retisol (Loamic, Protospodic)) до различных вариантов её антропогенной трансформации в условиях городской застройки – окультуренной агродерново-подзолистой почвы (Eutric Albic Retisol (Loamic, Aric, Humic)), представленной на участке Ботанического сада, до урбодерново-подзолистой почвы (Eutric Albic Retisol (Loamic, Humic, Transporti-Novic, Thaptoaric)) и урбостратозёма (Urbic Technosol (Loamic, Eutric, Humic Transportic)), описанных в центральной части города, вошедшей в черту городской застройки в первой половине XX века. В урбодерново-подзолистой почве и урбостратозёме мощность урбогенных горизонтов составляет примерно 40 и 70 см. Показано, что первые этапы освоения территории г. Сыктывкара связаны с агровоздействием, в последующем происходит перекрывание пахотных горизонтов горизонтами городского культурного слоя. В рассмотренном ряду почв отмечено слабое подщелачивание среды, увеличение количества поглощённых оснований и общей минерализации почвенного раствора. Выявлено заметное возрастание концентрации органического углерода в современных пахотных и урбиковых горизонтах, а также мощности горизонтов в них с содержанием $C_{орг}$ более 0,6%. Обнаружены косвенные признаки изменения состава минералов железа и марганца, обусловленные увеличением pH среды, при частичном сохранении зональных тенденций почвообразования. Выявленное направление трансформации почв согласуется с ранее описанным на территории городов Европейской части России.

Ключевые слова: антропогенная эволюция почв, городские почвы, средняя тайга, антропогенная эвтрофикация почв.

The experience of studying of the Albic Retisols antropogenic evolution in the urban environment of the North

© 2024. T. V. Prokof'eva¹ ORCID: 0000-0002-7729-2684,
I. E. Smirnova¹ ORCID: 0009-0008-3226-9414, E. M. Lapteva² ORCID: 0000-0002-9396-7979,
E. V. Zhangurov² ORCID: 0000-0002-4297-7536, Yu. V. Kholopov² ORCID: 0000-0002-5725-746X,
¹Lomonosov Moscow State University,
1/12, Lenin Hills, Moscow, Russia, 119991,
²Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: tatianaprokofieva@yandex.ru, lapteva@ib.komisc.ru

The results of soil studies of one of the medium-sized cities of the Russian European Northeast – Syktyvkar (Russia, Komi Republic, middle taiga subzone) are presented in the article. The series from a podzolic soil with a microprofile of podzol (Albic Retisol (Loamic, Protospodic)) typical for the region to various variants of its human transformation in urban conditions – cultivated agroderново-podzolic soil (Eutric Albic Retisol (Loamic, Aric, Humic)), represented on the site of the Botanical Garden, to urboderново-podzolic soil (Eutric Albic Retisol (Loamic, Humic, Transporti-Novic, Thaptoaric)) and urbostratozem (Urbic Technosol (Loamic, Eutric, Humic Transport)) described in the central part of the

city, included in the urban development in the first half of the XX century is considered. In urbo-soil and urbanostratozem the thickness of urbogenic horizons is approximately 40 and 70 cm. It is shown the first stages of the development of the territory of Syktyvkar city are associated with the agricultural impact. Subsequently, the arable horizons overlap with the horizons of the urban cultural layer. In the considered series of soils, weak alkalization, an increase in the absorbed bases and the total mineralization of the soil solution were found. A noticeable increase in the concentration of organic carbon in modern arable and urban horizons, as well as the thickness of horizons with the organic carbon content of more than 0.6% was revealed. An indirect evidences of changes in the composition of iron and manganese minerals (due to an increase in the pH) with partial preservation of zonal soil formation trends has been found. The revealed direction of soil evolution is consistent with the one previously described in the cities of the European part of Russia.

Keywords: anthropogenic evolution of soils, urban soils, middle taiga, anthropogenic eutrophication of soils.

В настоящее время почвы городов на культурных слоях и других техногенных отложениях – обычный объект исследования почвоведов. В почвах городов отмечены такие почвообразовательные процессы, как перемещение тонкодисперсных минеральных частиц и растворённых веществ вниз по профилю; перераспределение, перемещение и сегрегация различных форм соединений железа и марганца; реже подкисление, а чаще подщелачивание почв на техногенных отложениях и погребённых под ними естественных почв; образование слабо окристаллизованных алюмосиликатов в условиях очень высоких значений pH; аккумуляция органического вещества и питательных элементов с тенденцией увеличения их запасов за счёт наличия погребённых горизонтов; формирование устойчивой почвенной структуры [1, 2]. В черте города в почвах на техногенных отложениях формируются, прежде всего, гумусово-аккумулятивные горизонты, но возможно развитие также солонцовых горизонтов, горизонтов аккумуляции гипса, карбонатов, а также горизонтов, сцементированных соединениями железа [2]. Считается, что городские почвы – это всегда относительно молодые почвы, что определяется постоянной хозяйственной деятельностью человека [2, 3]. Они менее зависимы от климатических условий региона из-за антропогенного смягчения климата и привнесения в почвообразующий субстрат компонентов, нехарактерных для природных условий [4]. В городских почвах протекают природные почвообразовательные процессы, но их сочетание может быть нехарактерным для данной природной зоны [1, 2].

В отечественном почвоведении представления об эволюции городских почв получены при исследовании почв и культурных слоёв древних русских городов, приуроченных преимущественно к плакорным позициям рельефа в подзоне южной тайги [5–7] или к условиям выраженного гидроморфизма [8, 9], в том числе в других природных зонах. Почвенный покров средних и малых городов

северо- и среднетаёжной подзоны исследован в меньшей степени.

Цель данной работы – выявить особенности и глубину трансформации профилей почв в черте г. Сыктывкара, расположенного в подзоне средней тайги с преобладанием подзолистых почв.

Объекты и методы исследования

Исследования выполнены на территории столицы Республики Коми – г. Сыктывкара и его окрестностей в рамках подготовки и проведения VIII съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева в 2020–2022 гг. (<https://ib.komisc.ru/add/conf/soil2020/>). Город Сыктывкар основан на месте поселения (погост Усть-Сысола), первые упоминания о котором относятся к 1586 г. В 1780 г. погост преобразован в уездный город Усть-Сысольск, а в 1930 г. переименован в город Сыктывкар. Расположен Сыктывкар в юго-западной части Республики Коми, в месте слияния двух рек – Вычегды и её притока р. Сысолы, к долине которого приурочен исторический центр города. В современном облике центральной части города присутствуют постройки только XX и конца XIX в.

Рассматриваемая территория полностью располагается в подзоне средней тайги. Климат умеренно-континентальный умеренно-холодный, с длительной холодной зимой, устойчивым снежным покровом и коротким прохладным летом. Сыктывкар расположен в ареале преобладания подзолистых суглинистых почв холодных с длительным сезонным промерзанием, развивающихся под пологом ельников зеленомошной группы (*Piceeta hylacomiosum*) [10].

Объектами исследования послужили почвы двух ключевых участков. Участок КУ-1 расположен на юго-западной окраине города, на территории Ботанического сада Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорочкина (БС), участок КУ-2,

прилегающий непосредственно к комплексу зданий университета, приурочен к центральной части города, застройка которой относится к первой половине XX в. (рис. 1, см. цв. вкладку I). Участок КУ-2 прошёл несколько стадий функционального использования: одноэтажная городская застройка с огородами → обрабатываемый участок ботанического сада с плодовыми деревьями, теплицами, подсобными сооружениями → территория современного многоэтажного корпуса университета.

На участке КУ-1 исследованы профили: (1) целинной автоморфной почвы, развитой под пологом ельника зеленомошного, – подзолистая с микропрофилем подзола почва:

$$O \frac{0-2}{2} EL [e-hf] \frac{2-18}{16} EL \frac{18-38}{20}$$

$$BEL \frac{38-75}{37} BT \frac{75-120}{45} BC \frac{120-140}{20}$$

(2) агродерново-подзолистой почвы:

$$P \frac{0-40}{40} EL \frac{40-68}{28} BEL \frac{68-79}{11}$$

$$BT \frac{79-125}{46} BC \frac{125-150}{25}$$

представленной на участке плодово-ягодных культур ВС, ранее активно распаханом (рис. 2 А, В, см. цв. вкладку I). На участке КУ-2 описаны и изучены профили антропогенно-изменённых почв – урбодерново-подзолистой:

$$AYur \frac{0-6}{6} U1 \frac{6-19}{13} U2 \frac{19-28}{9} U3 \frac{28-34}{6}$$

$$TCH \frac{34-42}{8} [P] \frac{42-59}{17} [BEL] \frac{74-98}{24} [BT]$$

и урбостратозёма:

$$AYur \frac{0-3}{3} U1 \frac{3-14}{11} TCH1 \frac{14-26}{12}$$

$$TCH2 \frac{26-35}{9} U2 \frac{35-50}{15} TCH3 \frac{50-66}{16}$$

$$[P] \frac{66-92}{26} [EL] \frac{92-115}{23} [BEL]$$

формирующихся в настоящее время под травянистой рудерально-злаковой растительностью на территории одного из корпусов университета (рис. 2 С, D, см. цв. вкладку I).

Анализ морфологического строения почвенных профилей (сопоставление строения профилей и наборов горизонтов) и физико-химических свойств почв выполнен общепринятыми

в почвоведении методами. Определены электропроводность и pH водной и солевой вытяжек согласно ГОСТ 26423-85 и ГОСТ 26483-85, содержания обменных оснований (Ca^{2+} , Mg^{2+}) по ГОСТ 26487-85, подвижных форм P_2O_5 , K_2O по ГОСТ 26207-91 и Fe_2O_3 – в 0,2 н растворе HCl, органического углерода (C_{org}) – методом Тюрина с фотометрическим окончанием (ФР.1.31.2020.38218). Гранулометрический состав (ГС) исследован методом Качинского [11], содержание карбонатов в образцах почв оценено объёмно-метрическим методом с помощью кальциметра 08.53 Eijkelaar (SA07, США-Нидерланды) (ISO 10693). Статистическая обработка данных выполнена с применением пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2010. Цвет определён при помощи цветовых шкал Манселла для почв.

При диагностике и классификации почв использованы принципы современной классификации почв России [12] и городских почв [13]. Для удобства приведены аналоги названий почв в соответствии с Международной классификацией [14].

Результаты и обсуждение

Морфологическое строение почв. Рассмотренные ключевые участки расположены на дренированных участках водоразделов, приурочены к однотипным почвообразующим породам – крупнопылеватым покровным суглинкам, перекрывающим моренные суглинистые отложения. Морфологическое описание целинной подзолистой почвы участка КУ-1 соответствует строению широко распространённых в окрестностях г. Сыктывкара подзолистых с микропрофилем подзола почв, ненасыщенных, глубокоосветлённых, пылеватолегкосуглинистых на покровных суглинках (Albic Retisol (Loamic, Protosodic)) [10, 15].

Распашка и окультуривание территории ВС (участок плодово-ягодных культур на территории КУ-1) привели к трансформации подзолистой почвы, вовлечённой в агропроизводство, и формированию в верхней части её профиля стратифицированного пахотного горизонта (P). Более значительная мощность пахотного горизонта (40 см), по сравнению с мощностью горизонтов, замещённых и трансформированных при распашке (18–20 см) (табл.), указывает на рост профиля вверх из-за привноса материала в пахотные горизонты в процессе окультуривания. Данная почва определена нами как агродерново-подзолистая глубокоосветлённая, гумусово-

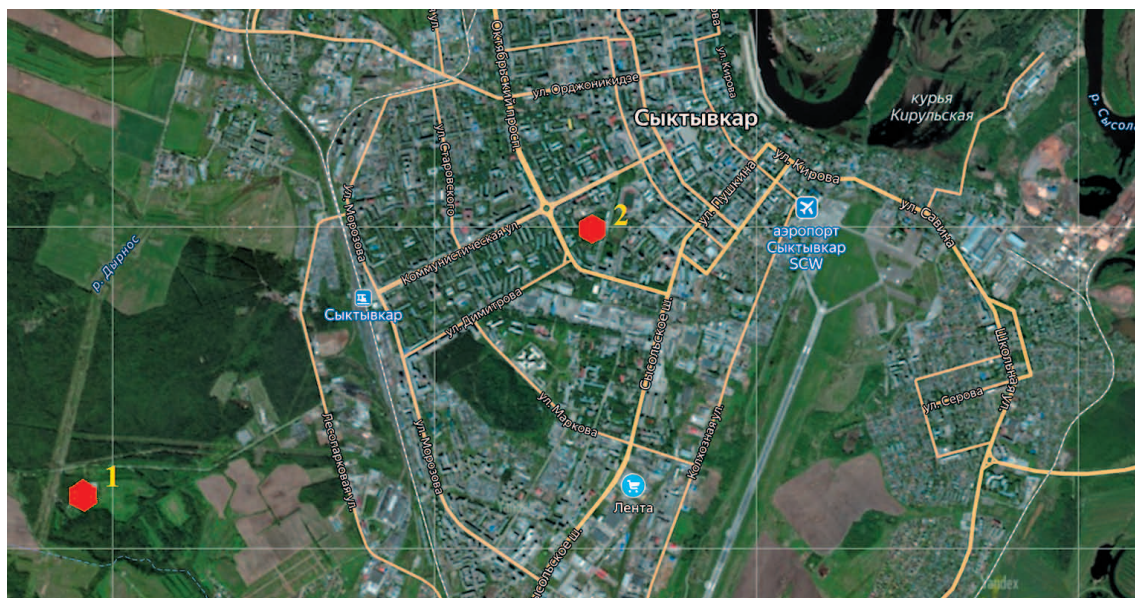


Рис. 1. Расположение ключевых участков в черте г. Сыктывкара (космический снимок получен с общедоступного электронного ресурса <https://yandex.ru/maps>): 1 – участок КУ-1 (территория Ботанического сада Сыктывкарского государственного университета); 2 – участок КУ-2 в центральной части города / **Fig. 1.** Location of key sites (KS) within Syktyvkar city (satellite image obtained from a publicly available electronic resource <https://yandex.ru/maps>): 1 – KS-1 (territory of the Botanical Garden of Syktyvkar State University); 2 – KS-2 in the central part of the city

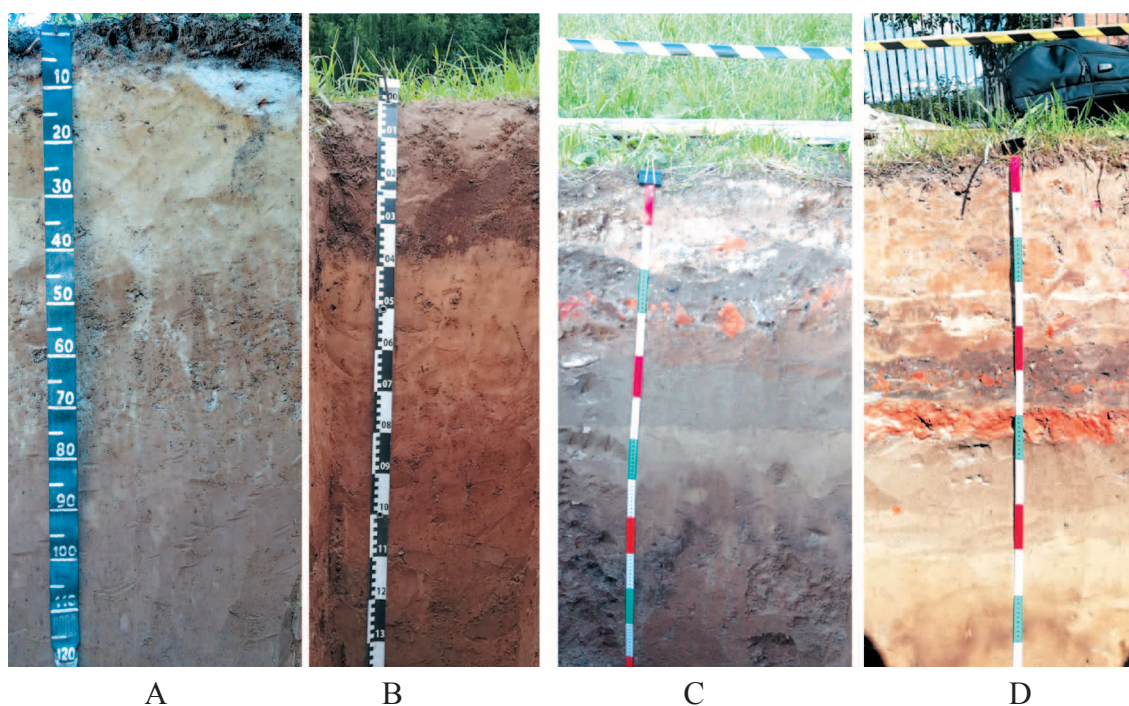


Рис. 2. Профили исследованных почв: А – подзолистая с микропрофилем подзола; В – агродерново-подзолистая; С – урбодерново-подзолистая; D – урбостратозём / **Fig. 2.** Profiles of the studied soils: A – podzolic with a microprofile of podzol (Albic Retisol (Loamic, Protosodic)); B – agrodernovo-podzolic (Eutric Albic Retisol (Loamic, Aric, Humic)); C – urbo-podzolic (Eutric Albic Retisol (Loamic, Humic, Transporti-Novic, Thaptoaric)); D – urbostratozem (Urbic Technosol (Loamic, Eutric, Humic Transportic))

Т. В. Прокофьева, И. Е. Смирнова, Е. М. Лаптева,
Е. В. Жангуров, Ю. В. Холопов «Опыт изучения трансформации
подзолистых почв в условиях городской среды Севера». С. 64.

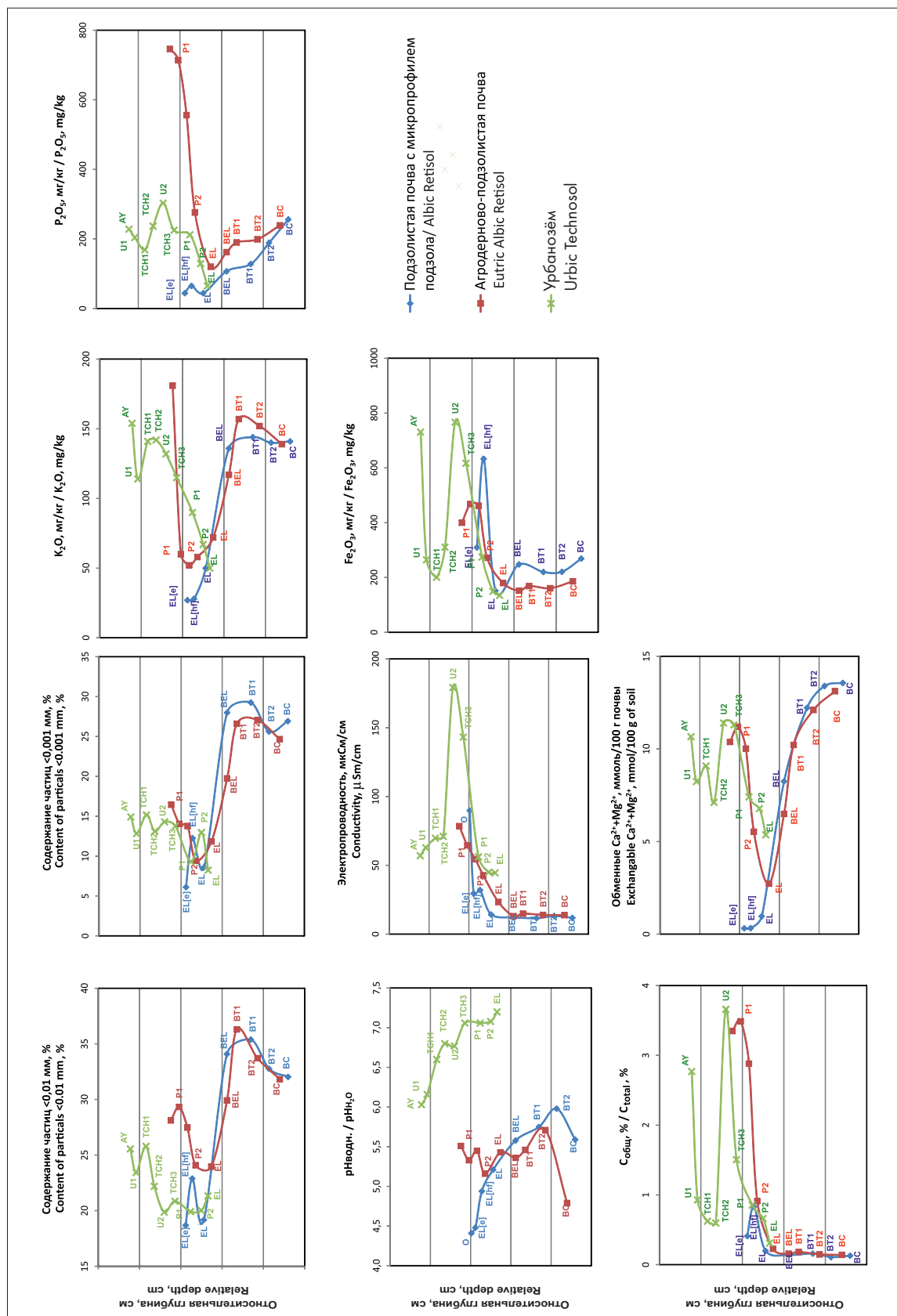


Рис. 3. Профильное изменение некоторых свойств в изученных почвах. Относительная глубина «0» соответствует верхней границе толщ природного горизонтов в ненарушенном профиле целинной подзолистой почвы / Fig. 3. Profile change of some properties in the studied soils. The "0" relative depth corresponds to the upper boundary of the thickness of natural horizons in the natural podzolic soil (Albic Retisol) profile

Таблица / Table

Некоторые параметры верхних горизонтов изученных почв / Some parameters of the studied soils upper horizo

Ключевой участок Key site	Использование, почва Land use, soil	Формула профиля Profile	Мощность, см / Thickness, cm		горизонтов с C _{opr} >0,6% of horizons with C _{total} >0,6%	Цвет по шкалам Манселла Color by Munsell soil color chart	Электропроводность, мкСм/см Electrical conductivity, μS/cm	pH _{воздух} , pH _{вода}	Са+Mg, ммоль/100 г почвы Ca+Mg, mmol/100 g of soil
			агрогенных горизонтов of arable horizons	урбогенных горизонтов of urban horizons					
KY-1 KS-1	Лес, подзолистая с микропрофилем подзола Forest, Podzolic with a microprofile of podzol	O-EL[e]-EL[hf]-EL-BEL-BT1-BT2-BC	0	0	8	7,5YR 6-7/2-3	14,3	5,2	0,97
			40	0	40	10YR 5-6/3-4	23,4	5,4	2,70
KY-2 KS-2	Пашня, агродерново-подзолистая Arable land, agrodernovo-podzolic	P1-P2-EL-BEL-BT1-BT2-BC	17	42	59	10YR 5/4	-	-	-
			24	63	87	10YR 5/4	44,6	7,2	5,41

Примечание / Note: «-» – не определены / undetermined.

стратифицированная средне- и глубокопахотная пылевато-легкосуглинистая на покровных суглинках (Eutric Albic Retisol (Loamic, Aric, Humic)).

Анализ морфологического строения почв, вскрытых разрезами на участке КУ-2, свидетельствует о формировании в городских условиях над пахотными горизонтами толщи, состоящей из слоёв техногенных отложений (ТСН), **бесструктурных, плотных, малогумусных**, и городских гумусово-аккумулятивных урбиковых (U) горизонтов. Появление этих горизонтов в рассмотренных почвах можно отнести ко времени строительства здания университета и активного функционирования при нём ботанического сада (30–50-е гг. прошлого столетия). В горизонтах U и ТСН содержится много включений строительного и бытового мусора, присутствуют карбонатные включения, но они распространены неравномерно. В профиле урбостратозёма среднесплошного пылевато-легкосуглинистого на погребённой агродерново-подзолистой почве (Urbic Technosol (Loamic, Eutric, Humic Transportic)) мощность урбогенных горизонтов составляет более 60 см. В урбодерново-подзолистой пылевато-легкосуглинистой почве (Eutric Albic Retisol (Loamic, Humic, Transportic-Novic, Thaptoaric)) **мощность урбогенных горизонтов около 40 см**, количество включений меньше и нет сплошного слоя, состоящего из них. В обоих разрезах под погребёнными пахотными горизонтами отчётливо выделяются ненарушенные нижние части элювиальных горизонтов природных подзолистых почв, послуживших основой для формирования городских почв. По наличию морфонов тёмно-коричневого цвета хорошо выделяется также диагностический горизонт BEL (рис. 2, см. цв. вкладку I). Окраска природных горизонтов имеет чуть более красноватые оттенки (в соответствии со шкалами Манселла 7,5YR), чем антропогенные горизонты (10YR). По мере увеличения степени антропогенной трансформации уменьшается светлота окраски с 6–7 в подзолистой почве до 5–6 в агро-почве и 4 в урбостратозёме.

Во всех изученных профилях обнаружены железо-марганцевые микроорштейны (примазки) при отсутствии явной глеевой окраски. Это свидетельствует об одинаковом переменном окислительно-восстановительном режиме почв на всех рассмотренных КУ.

Таким образом, изменение функционального использования земельных участков в черте города привело к формированию новых

горизонтов в почвах. Распашка и окультуривание подзолистых почв обусловили формирование пахотных горизонтов. При переходе от аграрного к городскому использованию образуется толща культурного слоя из переслаивающихся урбиковых (U) и техногенных (ТСН) горизонтов, аналогично тому, как это происходит в других городах [1, 5, 6, 8]. За примерно 100 лет с момента начала застройки центральной части г. Сыктывкара накопилось всего около 50 см отложений городского педоседемента.

Физико-химические свойства почв. Антропогенные горизонты (и пахотные, и урбогенные) содержат больше органического углерода и питательных элементов, чем горизонты природных почв, а также отличаются по содержанию некоторых гранулометрических фракций (рис. 3, см. цв. вкладку II). Так, в пахотных горизонтах отмечается некоторое утяжеление гранулометрического состава за счёт повышения содержания илистой фракции. Это, по-видимому, связано с характером материала, применявшегося для подсыпок при окультуривании почв. Напротив, в урбиковых горизонтах снижено содержание крупной пыли относительно почвы, погребённой под ними, и относительно верхних горизонтов целинной подзолистой почвы. Хотя в целом гранулометрический состав городских почв остаётся легкосуглинистым, можно отметить более грубообломочный опесчаненный характер материала из-за большого количества включений городского мусора, что в целом характерно обычно для урбогенно изменённых почв [1, 16].

Содержание $C_{орг}$ в агрогенных и урбиковых горизонтах почв Сыктывкара существенно выше, чем в целинной подзолистой почве. Оно достигает 3–4%. Мощность горизонтов, содержащих более 1% гумуса (примерно 0,6% $C_{орг}$), в рассмотренном ряду трансформации увеличивается с 8 до 87 см (табл.), несмотря на отсутствие практики массового применения компостов для улучшения почв в г. Сыктывкаре. Вместе с мощностями антропогенных горизонтов, имеющих гумусово-аккумулятивный характер, растут содержание и, по всей видимости, запасы органического вещества [17]. Этому способствует подщелачивание агро- и урбогенных почв. В пахотной почве pH верхних горизонтов увеличивается примерно на единицу по сравнению с природной, в городской возрастает на 2 единицы. Кроме того, в городской почве отчётливо заметно увеличение значений pH вниз по профилю. Также растёт электропроводность, показываю-

щая увеличение концентрации минеральных солей в почвенном растворе, и содержание обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (рис. 3, см. цв. вкладку II). При отсутствии явной карбонатности толща антропогенных горизонтов почв г. Сыктывкара содержит больше оснований в почвенном поглощающем комплексе, чем природные горизонты.

Содержание подвижных форм питательных элементов в антропогенных горизонтах выше, чем в верхних горизонтах минеральной части профиля целинной подзолистой почвы. В иллювиальных горизонтах и на переходе к породе фосфор накапливается и в целинной, и в трансформированных почвах. Это может быть обусловлено как утяжелением гранулометрического состава срединных горизонтов профиля и, соответственно, изменением в них состава минералов, так и аккумуляцией фосфатов двухвалентного железа, активно мигрирующих в профиле подзолистых почв в условиях гумидного климата.

Промывной водный режим и фульватный характер органического вещества [10] приводят к перераспределению подвижного железа по профилю в природной и агротрансформированной почве. Распределение его в обоих случаях бимодальное, аккумулятивно-элювиально-иллювиальное, с максимумами в микропрофиле подзола или в пахотных горизонтах, а также в иллювиальных горизонтах. В городских почвах отмечено увеличение содержания подвижного железа в урбиковых и техногенных горизонтах. В современном гумусовом горизонте и в урбогенных горизонтах урбостратозёма, содержащих максимальное количество артефактов, оно превышает таковое в подстилке и в горизонтах $\text{E}_{\text{L}}[\text{e-hf}]$ лесной почвы. Можно предположить, что в условиях малого содержания карбонатов органическое вещество городских почв Сыктывкара связано в основном с железом, или ассоциировано с накоплением аморфных гидроксидов железа, что соответствует зональным характеристикам [18].

Специфика элювиальных горизонтов в городских почвах. В рассмотренном ряду почв особое внимание обращает на себя элювиальный горизонт (E_{L}), который формируется в целинной подзолистой почве под пологом лесной растительности. В системе горизонтов городских почв это первый сохранившийся природный горизонт, располагающийся под толщей антропогенных горизонтов. Он маркирует нижнюю границу культурного слоя и переход к погребённой почве. Изменения свойств

горизонта E_{L} в процессе агро- и урбогенной трансформации имеют диагенетический характер и обусловлены воздействием почвенных растворов, поступающих в условиях промывного водного режима вниз по профилю из новых антропогенных горизонтов. Во всех исследованных почвах горизонты E_{L} близки по содержанию физической глины и ила (рис. 3, см. цв. вкладку II), что свидетельствует об их морфологической сохранности. Цвет горизонта E_{L} темнеет в рассмотренном ряду урбогенной трансформации, его оттенок чуть насыщеннее, что могло бы свидетельствовать о проникновении в него и накоплении железа и гумуса (табл.). Однако содержание подвижного железа в погребённых горизонтах E_{L} невелико. Содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ повышается всего с 0,2 до 0,3%. В погребённых почвах Москвы и Ярославля содержание органического углерода в горизонте E_{L} аналогично, что указывает на схожесть характера трансформаций в погребённых почвах [5–7].

Уменьшение светлоты горизонта E_{L} можно объяснить наличием соединений марганца, влияние на цвет которых отмечается в отсутствии окраски за счёт гумусовых веществ [19]. При увеличении мощности антропогенных горизонтов электропроводность показывает рост насыщенности почвенного раствора горизонтов E_{L} . Количество поглощённых оснований и pH также возрастают (табл.). Даже в отсутствие карбонатов pH достиг нейтральных и слабощелочных значений. Это может приводить к увеличению содержания несиликатных соединений марганца, которые служат меланизирующим пигментом для элювиальных горизонтов антропогенно изменённых почв и/или способствовать полимеризации и потемнению почвенных органических веществ [19].

Также отмечается увеличение желтизны сохранившихся горизонтов природных почв, находящихся под пахотными, или погребёнными под урбогенными. Возможно, это связано с увеличением синтеза гетита, которое в свою очередь ассоциировано с повышением содержания органического вещества. Краснота обусловлена гематитом, преимущественно унаследованным от пород. Он является устойчивым в условиях формирования подзолистых почв, в верхних горизонтах которых часто происходит его редукция (тон из 7,5YR становится 10YR). Однако в ещё большей степени преобладание гетита как красящего компонента почв выражено в почвах, преобразованных антропогенным воздействием благодаря ряду факторов: увеличению содержания

органического вещества, образованию железом-органических комплексов, при разрушении которых микроорганизмами происходит синтез устойчивого гетита. Также этот процесс ускоряется при наличии карбонатов в почвах. Ещё одним фактором, стимулирующим образование гетита, является переувлажнение. Увеличение плотности сложения и формирование слабководопроницаемых горизонтов, характерные для городских почв [1, 16], и повышение влажности почв под влиянием более гумидных условий микроклимата города [20] могут способствовать редукции гематита и образованию гетита [21].

Помимо изменений морфологических цветовых свойств, обычно связанных с изменениями в минералогическом составе и химии соединений железа, при агрогенном и урбогенном воздействиях происходят изменения в составе почвенного раствора, о чём косвенно свидетельствуют полученные данные, и почвенного поглощающего комплекса сохранившихся горизонтов природных почв. При окультуривании в элювиальных горизонтах возрастает содержание обменных кальция и магния, подвижных калия и фосфора, растёт минерализация почвенного раствора. С глубиной это воздействие становится всё менее выраженным и фактически не отражается на химическом составе субэлювиальных горизонтов (BEL). Под влиянием урбопедогенеза изменения в большей степени связаны с поступлением в почву карбонатов кальция и резким повышением pH, электропроводности и содержания обменного кальция в погребённом элювиальном горизонте, что делает его по данным свойствам полностью отличным от природных подзолистых горизонтов.

Заключение

На примере эволюционного ряда почв г. Сыктывкара и его окрестностей: подзолистая с микропрофилем подзола → агродерново-подзолистая → урбодерново-подзолистая → урбостратозём, показано, что изменения строения и свойств городских почв, образовавшихся на месте подзолистых почв, происходят за счёт привноса и механического перемешивания материала в верхней части профиля на начальном этапе их окультуривания. На этапе воздействия городской застройки основным процессом, формирующим новые горизонты, является накопление городского седимента и его частичная проработка педогенетическими процессами с образованием антропогенных

горизонтов поверх существующего профиля. С увеличением стадий изменения землепользования возрастает общая мощность антропогенных горизонтов. По мере увеличения времени и степени антропогенной нагрузки возрастает эвтрофикация городских почв – увеличиваются количество поглощённых оснований, pH, общая минерализация водной вытяжки, содержание органического углерода и питательных элементов. Обнаружены косвенные признаки изменения состава минералов железа и марганца в связи с изменением pH.

Совпадение в профильном распределении максимумов содержания органического вещества и подвижного железа свидетельствует о частичном сохранении зональных тенденций почвообразования в условиях антропогенного воздействия на территории г. Сыктывкара. При этом в почвах г. Сыктывкара не выявлено признаков современного оподзоливания и лессиважа, а также характерных для городских почв морфологических признаков перераспределения первичных карбонатов из антропогенных включений. Нижняя часть профилей городских почв не несёт признаков трансформации, что может быть обусловлено либо недостаточностью срока антропогенного воздействия, либо консервацией свойств погребённых горизонтов под привнесённым урбогенным материалом. Выявленные закономерности в изменении свойств почв г. Сыктывкара в целом соответствуют ранее установленным тенденциям в эволюционных изменениях почв на территории городов Европейской части России.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (рег. № 122040600023–8).

References

1. Soil, city, ecology / Ed. G.V. Dobrovolsky. Moskva: Fond "Za ekonomicheskuyu gramotnost", 1997. 320 p. (in Russian).
2. Huot H., Séré G., Vidal-Beaudet L., Leguédois S., Schwartz C., Watteau F., Morel J.L. Pedogenic processes in soils of urban, industrial, traffic, mining and military areas // Soils within cities. Stuttgart: Catena-Schweizerbart, 2017. P. 71–77.
3. Pickett S.T.A., Cadenasso M.L. Altered resources, disturbance, and heterogeneity: A framework for comparing urban and non-urban soils // Urban Ecosyst. 2009. V. 12. P. 23–44. doi: 10.1007/s11252-008-0047-x
4. Goncharova O.Yu., Semenyuk O.V., Stoma G.V. Research on soils of urban areas: Analysis of methodological

aspects and approaches (a case study of Moscow city) // *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.* 2021. V. 76. No. 4. P. 169–176. doi: 10.3103/S0147687421040037

5. Engovatova A., Golyeva A. Anthropogenic soils in Yaroslavl (Central Russia): history, development and landscape reconstruction // *Quat. Int.* 2012. V. 265. P. 54–62. doi: 10.1016/j.quaint.2012.02.039

6. Alexandrovskaya E.I., Alexandrovskiy A.L. History of the cultural layer in Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it // *Catena*. 2000. V. 41. P. 249–259. doi: 10.1016/S0341-8162(00)00107-7

7. Golyeva A., Khokhlova O., Engovatova A., Koval V., Aleshinskaya A., Kochanova M., Makeev A., Puzanova T., Kurbanova F. The application of buried soil properties for reconstruction of various stages of early habitation at archaeological sites in Moscow Kremlin // *Geosciences*. 2018. V. 8. No. 12. Article No. 447. doi: 10.3390/geosciences8120447

8. Dolgikh A.V., Aleksandrovskii A.L. Soils and cultural layers in Velikii Novgorod // *Eurasian Soil Science*. 2010. V. 43. No. 5. P. 477–487. doi: 10.1134/S1064229310050017

9. Aleksandrovskiy A.L., Lapshin V.A., Grigorieva N.V., Aleksandrovskaya E.I., Skripkin V.V. Soil formation at Staraya Ladoga in the Neolithic and early Medieval time // *Notes of the Institute of the History of Material Culture of the Russian Academy of Sciences*. Sankt-Peterburg: IIMC RAS, 2018. No. 18. P. 99–104 (in Russian). doi: 10.31600/2310-6557-2018-18-99-104

10. Atlas of soils of the Komi Republic / Ed. G.V. Dobrovolsky, A.I. Taskaev, I.V. Zaboeva. Syktyvkar: Komi Republic Printing House, 2010. 356 p. (in Russian).

11. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Methods for studying the physical properties of soils. Moskva: Agropromizdat, 1986. 416 p. (in Russian).

12. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.N., Gerasimova M.I. Classification and diagnostics of soils of Russia. Smolensk: Oikumena, 2004. 341 p. (in Russian).

13. Prokof'eva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bakhmatova K.A., Gol'eva A.A., Gorbov S.N., Zharikova E.A., Matinyan N.N., Nakvasina E.N., Sivtseva N.E. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system // *Eurasian Soil Science*. 2014. V. 47. No. 10. P. 959–967. doi: 10.1134/S1064229314100093

14. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition [Internet resource] <https://www.lss.ls.tum.de/boku/wrb-working-group/> (Accessed: 05.09.2024).

15. Vtyurin G.M. Paleocryogenesis and paleopedoformation in taiga soils of European Northeast // *Cryosphaera Zemli*. 1999. V. 3. No. 2. P. 86–96 (in Russian).

16. Yang J.-L., Zhang G.-L. Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils – A review // *Soil Sci. Plant Nutr.* 2015. V. 61. Sup. 1. P. 30–46. doi: 10.1080/00380768.2015.1035622

17. Vasenev V.I., Prokof'eva T.V., Makarov O.A. The development of approaches to assess the soil organic carbon pools in megapolises and small settlements // *Eurasian Soil Science*. 2013. V. 46. No. 6. P. 685–696. doi: 10.1134/S1064229313060100

18. Vodyanitsky Yu.N., Dobrovolsky V.V. Ferrous minerals and heavy metals in soils. Moskva: V.V. Dokuchaev Soil Institute, 1998. 216 p. (in Russian).

19. Vodyanitsky Yu.N. Mineralogy and geochemistry of manganese (literature review) // *Pochvovedenie*. 2009. No. 10. P. 1256–1265 (in Russian).

20. Landsberg G.E. City Climate, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. 248 p. (in Russian).

21. Vodyanitsky Yu.N. Chemistry and mineralogy of soil iron. Moskva: V.V. Dokuchaev Soil Institute of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2002. 236 p. (in Russian).