

ФАКТОРЫ И ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ И ГУМИФИКАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ

УДК 631.41

РАСТВОРИМОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПОЧВАХ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

© 2022 г. С. Н. Горбов^а, О. С. Безуглова^а, П. Н. Скрипников^а, С. А. Тищенко^а *

^а Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, Ростов-на-Дону, 344090 Россия

*e-mail: tischenko@sfedu.ru

Поступила в редакцию 01.12.2021 г.

После доработки 08.02.2022 г.

Принята к публикации 10.02.2022 г.

Рассмотрены особенности гумусонакопления и миграции по профилю почвенного органического вещества, выделяемого экстракцией холодной и горячей дистиллированной водой. Определение углерода проводили на анализаторе TOC-L CPN Shimadzu. Определение азота вели с помощью анализатора азота (Elementar Analyze GmbH, Ханау, Германия). Почвы – черноземы миграционно-сегрегационные (Calcic Chernozems (Pachic)) под естественной степной растительностью, их аналоги под искусственными древесными насаждениями и урбостратоземы (Urbic Technosols (Molic), Urbic Technosol и Technic Chernozem (Calcic)). На долю растворимых фракций приходится лишь небольшая часть органического вещества почвы, не превышающая 0.14% от всей почвы, что соответствует 4.0% в пересчете на $C_{орг}$. Для урбиковых горизонтов антропогенных почв эта величина значительно меньше и составляет 0.04% в почве или около 2.0% от суммы $C_{орг}$. В почвах под лесной растительностью миграция органического вещества по почвенному профилю выражена сильнее. Наблюдается небольшое накопление ВОВ на уровне карбонатного барьера. Распределение ВОВ по профилю отличается для антропогенно-преобразованных и естественных почв: в антропогенной толще оно имеет хаотичный характер, а в погребенных слоях чернозема плавно уменьшается с глубиной. Длительная консервация под водонепроницаемыми либо полупроницаемыми покрытиями способствует тому, что в нижней части профиля антропогенных почв на уровне карбонатного барьера накопления ВОВ нет. ВОВ богаты азотом, причем в нижних горизонтах наблюдается явное доминирование этого элемента в органическом веществе горячей экстракции. Низкие коэффициенты экстинкции ВОВ в этих горизонтах говорят о наличии низкомолекулярных веществ фенольной природы.

Ключевые слова: черноземы миграционно-сегрегационные, парково-рекреационная зона, углерод водорастворимых соединений, азот водорастворимых соединений

DOI: 10.31857/S0032180X2207005X

ВВЕДЕНИЕ

Гумус, являясь важнейшим компонентом почвы, с одной стороны, обладает значительным динамизмом и способностью реагировать на любые изменения окружающей среды, а с другой стороны, представляет собой довольно стабильную часть почвы, способную выдерживать антропогенное воздействие и поддерживать свой экологический статус даже в условиях значительного прессинга. Органическое вещество почвы все чаще рассматривается как индикатор ее качества и традиционно используется для оценки плодородия почвы. Участвуя в экосистемных циклах углерода, азота и других основных элементов, гумус является одним из основных показателей устойчивости и стабильности биосферы [6, 21]. Наиболее динамичной и биодоступной фракцией органического вещества почвы является водорастворимое

органическое вещество (ВОВ) [19], выступая чувствительным индикатором трендов изменений гумусного состояния и процессов почвообразования в целом [7]. Более того, ВОВ почвы – важный субстрат для роста почвенных микроорганизмов, поэтому этот показатель последнее время используется в качестве индикатора микробной активности [16, 18]. На долю так называемых неспецифических органических соединений почвы приходится около 20% суммарного органического вещества [12]. К их числу относятся ВОВ, в которые входят низкомолекулярные органические кислоты, аминокислоты, белки, полипептиды, почвенные липиды. Причем в водных вытяжках из почв отмечается увеличение лигниновой и углеводной составляющих и уменьшение белковой составляющей по сравнению с экстрактами из растительного опада [20].

До последнего времени водорастворимый гумус, как один из показателей состава гумуса, в черноземных почвах определялся довольно редко. Однако по данным Орлова с соавт. [10] практически всегда в ходе фракционно-группового анализа почв определяется содержание неспецифических органических соединений и продуктов гидролиза гуминовых веществ, растворяющихся при декальцировании в 0.1 н. H_2SO_4 . В схеме Пономаревой и Плотниковой [12] они названы фракцией фульвокислот ФК-1а. Содержание этой фракции в зависимости от типа почв и условий почвообразования может колебаться в широких пределах и составлять в черноземах от 1.0 до 5.0% [9]. Эволюция представлений о неоднозначности термина гумусовых веществ и условности разделения органического вещества на темноокрашенные соединения неопределенной структуры и вещества известного строения [3], а также постепенный переход в российской школе почвоведения от методов косвенного определения (с применением бихромата калия) органического вещества в почвах и вытяжках к методам прямого каталитического сжигания определили смену методологической парадигмы определения наиболее подвижной, а соответственно и наиболее активной части почвенного органического вещества в виде его водорастворимых форм. Оправданным стало использование автоматических ТОС- либо СНН-анализаторов, которые позволяют более точно определить количество углерода, содержащегося в естественных и, особенно, в антропогенно-измененных почвах, тем более, что органическое вещество таких почв не всегда имеет почвенное происхождение и примесь загрязняющих веществ органической природы в городских почвах – вполне обычное явление [21].

Цель исследования – изучение наиболее подвижных (водорастворимых) форм почвенного органического вещества в почвах городских территорий, испытывающих на себе антропогенное воздействие различной природы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования и отбор проб почв. Объектами исследования были естественные и антропогенно-измененные почвы Ростовской агломерации. Это самая крупная агломерация юга России, характеризующаяся ярко выраженным моноцентризмом. Здесь сосредоточено более 50% населения области, в том числе около 60% городского населения. Ядро агломерации, так называемый Большой Ростов, в которое входят города Ростов-на-Дону, Батайск и Аксай с прилегающими населенными пунктами, расположено на берегу реки Дон и включает бассейн самого Дона и его притоков. Общая площадь исследуемого региона 493.1 км²; площади Батайска, Аксая и Ростова-на-Дону составляют соответственно 77.6,

67.5 и 348 км². Наши исследования были сосредоточены в “Большом Ростове”, наиболее урбанизированной части Ростовской агломерации (рис. 1).

Почвенные разрезы закладывали на плакорных участках с таким расчетом, чтобы охватить наиболее распространенные типы почв городских ландшафтов юга России. Исходя из КиДПП [5] и мировой реферативной базы почвенных ресурсов WRB [23], исследуемые почвы были идентифицированы следующим образом.

1. Антропогенно-преобразованные почвы, приуроченные к селитебным зонам города:

- урбостратозем на погребенном черноземе, разрез 2102pG (Urbic Technosols (Molic)), ориентировочный возраст формирования антропогенной толщи 40–50 лет. Растительный покров характеризуется преобладанием крупнотравных рудеральных многолетников, проективное покрытие травостоя 30–50%;

- экранированный урбостратозем, разрез 2103pG (Urbic Technosol (Ekranic)), ориентировочный возраст формирования антропогенной толщи более 100 лет, поверхностный горизонт урбик запечатан, растительный покров отсутствует;

- урбистратифицированный чернозем – реплантозем, разрез 2101pG (Technic Chernozem (Calcic)), ориентировочный возраст формирования антропогенной толщи 20 лет. Растительность поверхностного рекультивационного гумусового горизонта (RAT) характеризуется проективным покрытием травостоя 75–80% на поздней стадии демуляции, с преобладанием пырейно-бурьянистой ассоциации);

2. Естественные почвы, приуроченные к парково-рекреационным зонам города и ООПТ:

- черноземы миграционно-сегрегационные старой залежи (разрез 2002p), ориентировочный период демуляции 40 лет. Растительный покров характеризуется искусственно восстановленным разнотравно-типчакково-ковыльным разнотравьем с проективным покрытием более 95%;

- черноземы миграционно-сегрегационные лесопарковых зон города разрезы 2101p, 2001p (Calcic Chernozem (Pachic)), ориентировочный возраст древесных насаждений 70–85 лет, в древесном и кустарниковом ярусах доминируют представители робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia* L.), гледичия трехколочковая (*Gleditsia triacanthos* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.); в травянистом ярусе важное участие в сложении напочвенного покрова принимают представители сорно-луговой и лесо-луговой растительности;

- целинный чернозем миграционно-сегрегационный (Calcic Chernozem (Pachic), разрез 2105p), который использовался в качестве эталона сравнения, был заложен на территории ООПТ регионального значения – памятника природы “Пер-

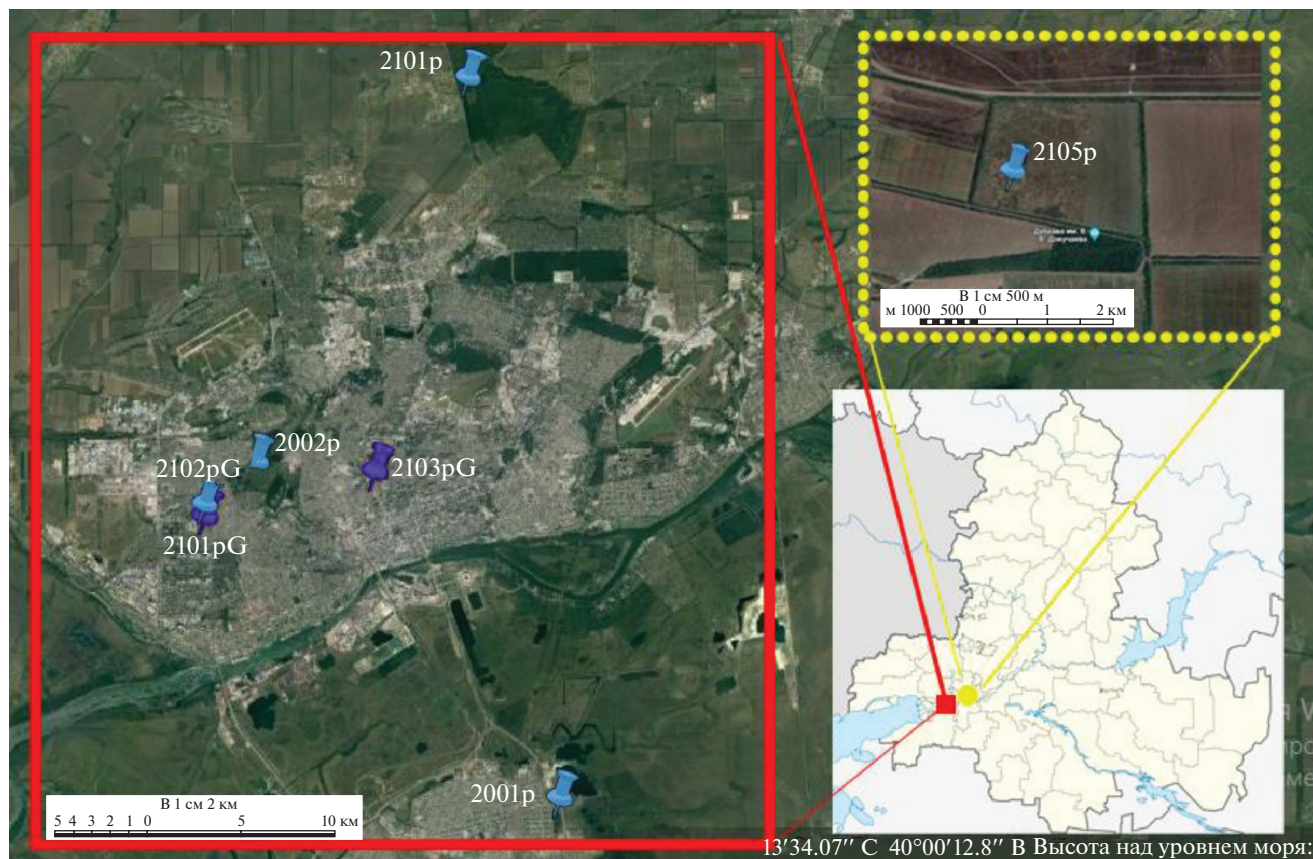


Рис. 1. Расположение разрезов: 2103pG $-47^{\circ}23'32''$ N; $39^{\circ}69'88''$ E; 2101pG $-47^{\circ}22'12''$ N; $39^{\circ}63'02''$ E; 2101p $-47^{\circ}20'42.5''$ N; $39^{\circ}44'23.1''$ E, 2001p $-47^{\circ}82'20''$ N; $39^{\circ}46'30.7''$ E, 2102pG $-47^{\circ}13'46.5''$ N; $39^{\circ}37'80.8''$ E, 2105p $-47^{\circ}30'51.4''$ N; $40^{\circ}92'90''$ E, 2002p $-47^{\circ}14'16.6''$ N; $39^{\circ}39'06.0''$ E.

сиановская степь”. Его территория находится в 45 км северо-восточнее г. Ростова-на-Дону и представляет собой сохранившийся образец разнотравно-типчаково-ковыльной степи.

Образцы почвы отбирали из всех генетических горизонтов почвенного профиля (до глубины 200 см).

Специфика морфологии антропогенно-преобразованных почв (Urbic Technosol) проявляется наличием горизонта урбик (UR) и слоя реплантанта (RAT). Горизонт урбик UR – синлитогенный диагностический горизонт; он формируется за счет постепенного накопления различных материалов, попадающих в поверхностные горизонты почв в городских и сельских поселениях. Горизонт содержит незначительное количество артефактов (чаще всего строительных и бытовых отходов), нередко с большой примесью песка и/или мелких камней. Характерная окраска – коричневатая-серая (согласно цветовой шкале Манселла значение менее 6; цветность 1–4). Химические свойства сильно отличаются от свойств поверхностных горизонтов природного аналога. Обычно горизонт урбик имеет нейтральную или щелочную реакцию и часто вскипает с HCl [2, 14].

Рекультивационный компостно-гумусовый горизонт (RAT) – это используемый для мелиорации достаточно богатый органическим веществом материал, в той или иной степени модифицированный почвообразованием. В городских условиях RAT представляет собой поверхностный органоминеральный слой темного цвета (согласно цветовой шкале Манселла его значение не более 3), мелкокомковатой структуры, содержит более 4% гумуса. Часто он подстилается созданным человеком горизонтом, имеет ровную или слегка волнистую границу и резкий или четкий переход к нижележащему слою или горизонту, в виде включений содержит средне- и/или сильно разложившиеся растительные остатки и другие городские артефакты [2, 14].

Методы исследования. *Определение валового органического углерода C и общего N.* Определение валового органического углерода проводили методом высокотемпературного каталитического сжигания с помощью анализатора TOC-L CPN Shimadzu. Принцип определения общего углерода (TC) основан на прямом сжигании твердого образца в трубке для сжигания, заполненной катализатором окисления и нагретой до 900°C . В отдель-

ной пробе определяется неорганический углерод (IC) путем сжигания при температуре 200°C с добавлением ортофосфорной кислоты. Содержание органического углерода (TOC) рассчитывают по разнице между общим и неорганическим углеродом. Для определения общего азота использовали анализатор Elementar Analyze GmbH, Ханану (Германия). Для анализа использовалась навеска почвы массой 40 мг, которая помещалась в специальную кювету и подвергалась высокотемпературному окислению в присутствии катализаторов. Количество углерода или азота в образце рассчитывали по калибровочной кривой.

Извлечение углерода и азота водорастворимых органических веществ. Водорастворимые органические вещества последовательно экстрагировали с использованием холодной воды, а затем горячей водой из всей массы почвы. Легкорастворимая фракция – это фракция, экстрагируемая холодной водой; растворимая фракция – фракция, экстрагируемая горячей водой. Легкорастворимые органические вещества экстрагировали из почвы, добавляя 30 мл дистиллированной/деионизированной воды в пробирку, содержащую 3 г воздушно сухой почвы. Суспензию встряхивали 30 мин и центрифугировали при 3500 об./мин в течение 20 мин. Растворы супернатантов декантировали и пропускали через 0.45 мкм фильтр из нитрата целлюлозы. Вес экстракционных трубок с оставшейся влажной почвой регистрировали, чтобы рассчитать количество оставшегося экстракта холодной воды.

Горячую экстракцию проводили, добавляя воду к влажной почве, оставшейся в каждой пробирке, с таким расчетом, чтобы довести объем воды до 30 мл, а затем на 16 ч помещали пробирки в водяную баню при 80°C. После этого образцы центрифугировали, декантировали и фильтровали, как указано выше. Отфильтрованные растворы перед инкубацией хранили в холодильнике (4°C) [17]. Концентрацию общего и неорганического углерода и азота в полученных экстрактах измеряли с помощью анализатора TOC-L CPN Shimadzu.

Коэффициент экстинкции. Поскольку в видимой области спектра поглощение света водорастворимыми органическими фракциями низкое, то измерения коэффициентов экстинкции проводили в УФ-диапазоне спектра при длине волны 254 нм. В этой области свет поглощают многие низкомолекулярные фенольные соединения, продукты распада лигнина растительных тканей, а также фульвокислоты и низкомолекулярные фракции ГК.

Математическая обработка. Математическая обработка данных производилась в программе Statistica-13. Нормальность распределения данных и однородность дисперсий оценивали с помощью тестов Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова. Распределение было оценено как ненормальное, и однородность дисперсий не оди-

накова. Использовались непараметрические методы: критерий Краскела-Уоллиса для сравнения средних значений ВОВ естественных и антропогенно преобразованных почв; дисперсионный анализ для сравнения нескольких независимых групп (парное сравнение аналогичных горизонтов исследуемых почв).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Углерод водорастворимых органических соединений. Определение активных фракций органического вещества почвы важно для характеристики свободного углерода, так как они могут не только легко перемещаться, но и минерализоваться, высвобождаясь, к примеру, в виде свободного CO₂. К наиболее неустойчивым фракциям органического вещества относятся соединения, экстрагируемые холодной и горячей водой.

Результаты определения водных вытяжек холодной и горячей экстракции из черноземов и урбостратоземов Ростовской агломерации (табл. 1) показали, что доля углерода водорастворимых компонентов (ВОВ) в органическом веществе (ОВ) почв Ростовской агломерации входит в интервал 2.5–5% и оценивается как “очень высокая” [10]. Большинство значений, полученных суммированием холодной и горячей экстракцией ВОВ от С органического почвы, находится в диапазоне от 2.0 до 5.0%. В то же время в профильном распределении этого показателя прослеживается определенная зависимость от вида воздействия и степени трансформации профиля. Во всех исследованных черноземах миграционно-сегрегационных (разрезы 1205р, 2002р, 2101р и 2001р) наблюдается общая закономерность: вглубь по профилю абсолютное содержание водорастворимого углерода уменьшается, что сопряжено с уменьшением количества общего органического углерода. В целинной почве наблюдается статистически достоверно большее содержание общего ВОВ в дернине темногумусового горизонта – 134.2 мг/л относительно старозалежного чернозема, где его содержание составляет 73.5 мг/л. Это сопряжено с сохранением на поверхности целинного чернозема разнотравно-типчаково-ковыльной растительных ассоциаций с сомкнуто-диффузным проективным покрытием, что в свою очередь обеспечивает непрерывающееся ежегодное поступление растительных остатков в существенно большем объеме. Необходимо отметить, что существенное снижение зафиксировано при переходе от поверхностного гумусово-аккумулятивного горизонта AU_{rz} к горизонту AU, где наблюдается почти двукратное уменьшение содержания этой формы углерода независимо от этапа остепнения. Как следствие, особенно ярко эта закономерность проявляется для целинного чернозема, где содержание ВОВ в дернине темногумусового горизонта в 26 раз больше, чем в горизонте С, при том, что общее со-

Таблица 1. Содержание различных форм углерода в почвах Ростовской агломерации, рН и величина коэффициента экстинкции

Горизонт	Глубина отбора	С-ОВ в почве, %	С-ВОВ, мг/л			Карбонаты, пересчет на CO ₂ , %	К экстинкции		рН
			ВОВ-1, холодная экстракция	ВОВ-2, горячая экстракция	Σ		ВОВ-1	ВОВ-2	
Calcic Chernozem (Pachic), чернозем миграционно-сегрегационный, целина.									
Персиановская степь. Разрез 2105р									
AU rz	0–9	4.3	28.1	106.1	134.2	1.6	0.92	1.75	7.5
AU	9–44	2.5	31.6	45.6	77.3	1.5	0.52	0.79	7.8
AU	44–63	1.3	18.1	25.8	44.0	2.8	0.47	0.42	7.8
AU hi	63–80	0.9	13.2	17.3	30.5	5.5	0.30	0.27	8.0
BCA lc	80–92	0.5	11.8	11.3	23.0	7.7	0.23	0.22	8.3
BCA nc	92–120	0.2	4.8	4.7	9.5	8.3	0.16	0.07	8.3
C ca	120–дно	0.1	2.8	2.2	5.0	6.8	0.22	0.04	8.4
Calcic Chernozem (Pachic), чернозем миграционно-сегрегационный, старая залежь.									
Ботанический сад. Разрез 2002р									
AU rz	0–15	2.3	22.5	51.0	73.5	1.4	0.96	0.78	7.7
AU	15–50	1.9	17.0	30.7	47.8	1.5	0.73	0.64	7.8
AU hi	50–65	1.6	13.0	25.7	38.8	2.0	0.79	0.34	7.9
BCA lc	65–90	1.1	10.8	17.5	28.3	4.6	0.66	0.23	8.3
BCA nc	90–110	0.5	5.0	9.8	14.9	7.4	0.54	0.15	8.3
C ca	110–150	0.3	5.1	5.4	10.5	8.5	0.51	0.10	8.3
Calcic Chernozem (Pachic), чернозем миграционно-сегрегационный, лесопарк.									
Ростов-на-Дону. Разрез 2101р									
AU rz	0–15	3.4	37.9	77.4	115.3	0.05	2.30	2.15	7.0
AU	20–30	2.7	25.8	42.0	67.7	0.04	1.62	1.42	7.3
AU	50–60	2.3	19.5	33.7	53.2	0.04	2.04	1.38	7.5
AU hi	70–95	1.5	17.1	21.5	38.7	0.05	1.89	0.97	7.5
BCA lc	95–120	0.9	10.6	14.4	25.0	2.27	0.94	0.26	8.3
BCA nc	120–145	0.6	7.7	8.3	16.0	4.77	0.36	0.14	8.3
C ca	145–160	0.3	5.0	6.8	11.7	7.39	0.29	0.10	8.4
Calcic Chernozem (Pachic), чернозем миграционно-сегрегационный, лесопарк.									
Батайск. Разрез 2001р									
AU rz	0–5	4.05	19.4	66.2	85.6	0.07	1.18	1.09	7.0
AU	5–50	1.87	18.0	30.1	48.2	0.12	1.45	0.67	7.8
AU hi	50–70	1.15	10.2	16.9	27.1	1.17	0.98	0.44	8.4
BCA lc	70–90	0.78	6.8	13.1	19.8	3.02	0.18	0.52	8.5
BCA nc	90–130	0.43	7.2	10.3	17.5	4.78	2.34	1.08	8.5
C ca	130–150	0.30	6.6	11.2	17.8	7.06	3.63	2.75	8.5
Technic Chernozem (Calcic), урбистратифицированный чернозем, селитебная зона.									
Ростов-на-Дону. Разрез 2101рG									
RAT 1	0–5	2.8	29.7	65.3	95.0	0.86	1.04	1.25	7.6
RAT 2	5–22	1.4	11.5	19.4	30.9	0.19	0.50	0.34	8.0
[AU hi]	140–170	1.2	10.6	12.5	23.0	2.89	0.34	0.21	8.2
[BCA lc]	170–200	0.7	8.5	12.8	21.3	5.70	0.41	0.16	8.3
[BCA nc]	200–230	0.5	5.1	6.7	11.8	5.73	0.39	0.11	8.4
[Cca]	230–250	0.35	3.4	4.1	8.1	5.5	0.42	0.08	8.4

Таблица 1. Продолжение

Горизонт	Глубина отбора	С-ОВ в почве, %	С-ВОВ, мг/л			Карбонаты, пересчет на CO ₂ , %	К экстинкции		pH
			ВОВ-1, холодная экстракция	ВОВ-2, горячая экстракция	Σ		ВОВ-1	ВОВ-2	
Urbic Technosol, экранированный урбостратозем, селитебная зона.									
Ростов-на-Дону. Разрез 2102pG									
UR1	0–22	1.1	4.7	10.8	15.5	3.06	0.12	0.12	8.4
[AU]	50–83	1.3	10.3	19.2	29.5	0.02	0.81	0.41	7.9
[AU hi]	83–103	0.8	6.4	9.5	15.9	0.04	0.68	0.09	8.0
[BCA lc]	103–116	0.8	3.8	6.1	9.9	2.61	0.25	0.06	8.5
[BCA nc]	116–133	0.4	2.6	4.3	6.9	4.31	0.14	0.05	8.5
[Cca]	133–193	0.3	2.9	1.9	4.8	5.29	0.06	0.01	8.7
Urbic Technosol, экранированный урбостратозем, селитебная зона.									
Ростов-на-Дону. Разрез 2103pG									
UR1	5–50	1.6	13.5	17.0	30.6	3.10	1.47	0.62	8.8
UR2	50–70	2.8	13.6	29.3	42.9	1.85	0.89	0.98	8.3
UR3	70–88	4.1	4.77	9.6	14.4	4.49	0.22	0.30	8.4
UR4	88–100	2.0	11.1	29.9	41.0	0.34	0.73	1.12	8.1
[AU]	100–140	2.2	12.5	29.9	42.4	0.05	1.13	1.54	7.7
[AU hi]	140–170	1.5	8.08	19.6	27.7	0.06	0.55	1.22	7.7
[BCA lc]	170–200	1.4	6.5	18.0	24.5	0.07	0.23	0.48	8.1
[BCA nc]	200–230	0.8	6.2	7.9	14.0	1.64	0.12	0.38	8.2
[Cca]	230–250	0.8	7.09	11.2	18.3	3.58	0.07	0.17	8.1

держание ОВ здесь в 35 раз больше, чем в материнской породе. В аналогичном горизонте чернозема залежного участка содержание водорастворимого углерода больше, чем в горизонте С в 7 раз, в то время как ОВ – в 9 раз.

В городах степной зоны массивы древесной растительности, высаживаемые вокруг поселений с ветрозащитной целью, формируют особый микроклимат, способствующий увеличению влажности почвенной толщи в целом. Таким образом создаются условия для выщелачивания карбонатов из горизонта А в нижележащую толщу. Содержание неорганического углерода в поверхностном горизонте имеет наибольшие значения в черноземах целинных и залежных участков, его средняя величина составляет 0.36%. Это значительно (в 10–30 раз) превышает его содержание во всех изученных почвах под древесной растительностью. Миграционные формы карбонатов в виде прожилок и плесени в черноземах лесопарков отсутствуют, либо наблюдаются с 78–90 см. Конкреционные формы в виде рыхлой белоглазки в среднем встречаются только с глубины 110 см. Для черноземов под степной травянистой растительностью характерно вскипание с поверхности почвы, образование карбонатной плесени с 30, а белоглазки с 70 см. Таким образом, в черноземах

лесопарков наблюдается явление вторичного выщелачивания карбонатов из верхних горизонтов за счет преобладания нисходящих токов влаги.

Меняется также и гумусовый профиль: в AU_{tz} лесопарков обычно содержание гумуса больше, чем в пахотных черноземах сельскохозяйственной округи, включая целинный чернозем. По данным Захарова [4], исследовавшего гумусное состояние черноземов прибрежной равнины Азовского моря, содержание органического углерода в верхних 10 см составляло в среднем 3.3% (данные по 27 почвенным разрезам) с вариациями от 2.6 до 4.4%. По профилю почвы содержание органического углерода постепенно уменьшается от 3.3% (0–10 см) до 0.9% (100 см). Ранее проведенные исследования [1] показывают, что за последние 40–50 лет содержание C_{орг} в верхних 10 см почв парковой зоны увеличилось до 4.0%. В настоящее время диапазон содержания углерода в черноземах под древесной растительностью колеблется от 3.4 до 4.9%.

В дернине темного гумусового горизонта накопление водорастворимого углерода происходит в меньшей степени, чем в черноземе под степной растительностью. Сохраняется общий тренд: количество водорастворимого углерода вниз по профилю уменьшается, но разница между поверхностным горизонтом и глубокими почвен-

ными горизонтами не столь существенна. Для большей части исследуемых почв это уменьшение статистически достоверно при $p < 0.05$. Особенно ярко это проявилось в профиле чернозема миграционно-сегрегационного (разрез 2101p, табл. 1), где превышение количества ВОВ в дернине в темногумусовом горизонте над его содержанием в материнской породе всего 4.8 раза. Такие различия можно объяснить изменением гидротермического режима в черноземах парков и лесопарков. В затененных деревьями почвах влага лучше сохраняется в теплое время года, почва промачивается на большую глубину, так как в лесополосах и парках зимой накапливается больше снега, и в годовом цикле нисходящие потоки воды обычно преобладают над восходящими. Так, по данным Укенова [15] для черноземов Оренбургской области запасы почвенной влаги в метровой толще весной составили под лесополосой 365.2 мм, а на удалении в 900 м от лесополосы только 284.0 и 135.9 мм соответственно. Повышенная влажность увеличивает растворимость и подвижность карбонатов в почвенном профиле, вследствие чего они мигрируют в более глубокие горизонты (AUhi, BCAlc или BCAnс).

Вероятно, вместе с выщелачиванием карбонатов наблюдается и вынос части водорастворимого углерода вниз по профилю почвы. Об этом же свидетельствует возрастающая доля водорастворимого углерода в общем пуле органического углерода в нижней части профиля в черноземах лесных массивов (табл. 1, рис. 2 (3 и 4)). В нижней части профиля содержание ВОВ в пересчете на процент к общему углероду увеличивается, составляя 3.45–4.51%, в единичном случае достигая 5.95%, то есть переходя в “сверхвысокие” значения по системе оценки, разработанной Орловым с соавт. [10].

Описываемые различия не ограничиваются количественной стороной. Данные, представленные на рис. 2, свидетельствуют, что ВОВ отличается также степенью растворимости его компонентов. Органическое вещество, извлекаемое холодной водой, представлено наиболее легкорастворимыми формами. Количество таких соединений в верхних горизонтах черноземных почв значительно меньше, чем извлекаемых из почвы в ходе экстрагирования горячей водой.

Однако в средней и нижней (для залежных и целинных черноземов) частях профилей разница между этими показателями сглаживается и становится статистически недостоверной. В черноземах лесопарков в нижней части профиля наблюдается большая разница между холодной и горячей экстракцией, что вероятно объясняется низким коэффициентом извлечения водорастворимого углерода из-за его прочной связи с карбонатами. Именно на нижнюю часть профиля приходится наибольшая доля этого относительного показателя $C_{\text{вод}}$ в $C_{\text{общ}}$.

Проведено парное исследование горизонтов для всех изученных почвенных профилей для сравнения в них абсолютных значений суммарного водорастворимого органического вещества (в мг/л). Для более качественной статистической обработки данных, чтобы выборка подчинялась закону нормального распределения, горизонты почвенных профилей разделили на поверхностные (AUrz и AU), средней части профиля (AUhi и BCAlc) и подпочвенные (BCAnс и Cca). Сравнение указывает на неоднородность и почти полное отсутствие достоверных отличий в парах аналогичных горизонтов в верхней части профиля, представленной горизонтами AUrz и AU (табл. 2). Можно сделать вывод, что данная часть профиля является наиболее динамичной и неоднородной вследствие разнообразия протекающих в ней физико-химических процессов, влияния микробиологической активности и постоянного вовлечения большого количества отмершей растительности в качестве основного поставщика органического вещества почвы. Сравнивая среднюю часть профиля разных разрезов, можно отметить отсутствие достоверной разницы между значениями содержания ВОВ в профилях 2105p и 2001p для горизонта AUhi, а для горизонта BCAlc 3 профиля (2105p, 2101p и 2001p) демонстрируют статистически достоверные значения ВОВ. Такие же тенденции можно наблюдать, изучая подпочвенные горизонты (BCAnс и Cca). То есть, хотя водорастворимое органическое вещество представляет собой наиболее динамичную часть гумуса, по абсолютному содержанию $C_{\text{орг}}$ средняя и нижняя части профилей являются достаточно консервативными, демонстрируя стабильные значения содержания водорастворимого углерода и, следовательно, наименее подвержены изменениям ввиду смены флористического состава растительности.

В городских антропогенно-преобразованных почвах картина иная: наблюдается выраженная двучленность профиля – распределение как ОВ, так и ВОВ по профилю имеет бимодальный характер с максимумом в погребенном гумусо-аккумулятивном горизонте А (табл. 1). В горизонтах городского техногенного происхождения (UR и RAT) содержание ВОВ широко варьирует из-за различий в химическом составе, предопределенных генезисом этих горизонтов. Особенно это видно на примере Urbic Technosol (профиль 2103pG, рис. 2), в котором техногенный слой мощностью 100 см состоит из четырех горизонтов урбик, различающихся по морфологии, гранулометрическому составу, химическим свойствам, включая компоненты органической природы, неспецифичные для почвы (органический мусор, нефтепродукты и пр.).

Интересно распределение рассматриваемых компонентов в почвенном профиле погребенных черноземов, сохранивших набор генетических горизонтов под антропогенной толщей полностью (профили 2103pG, 2101pG) или частично

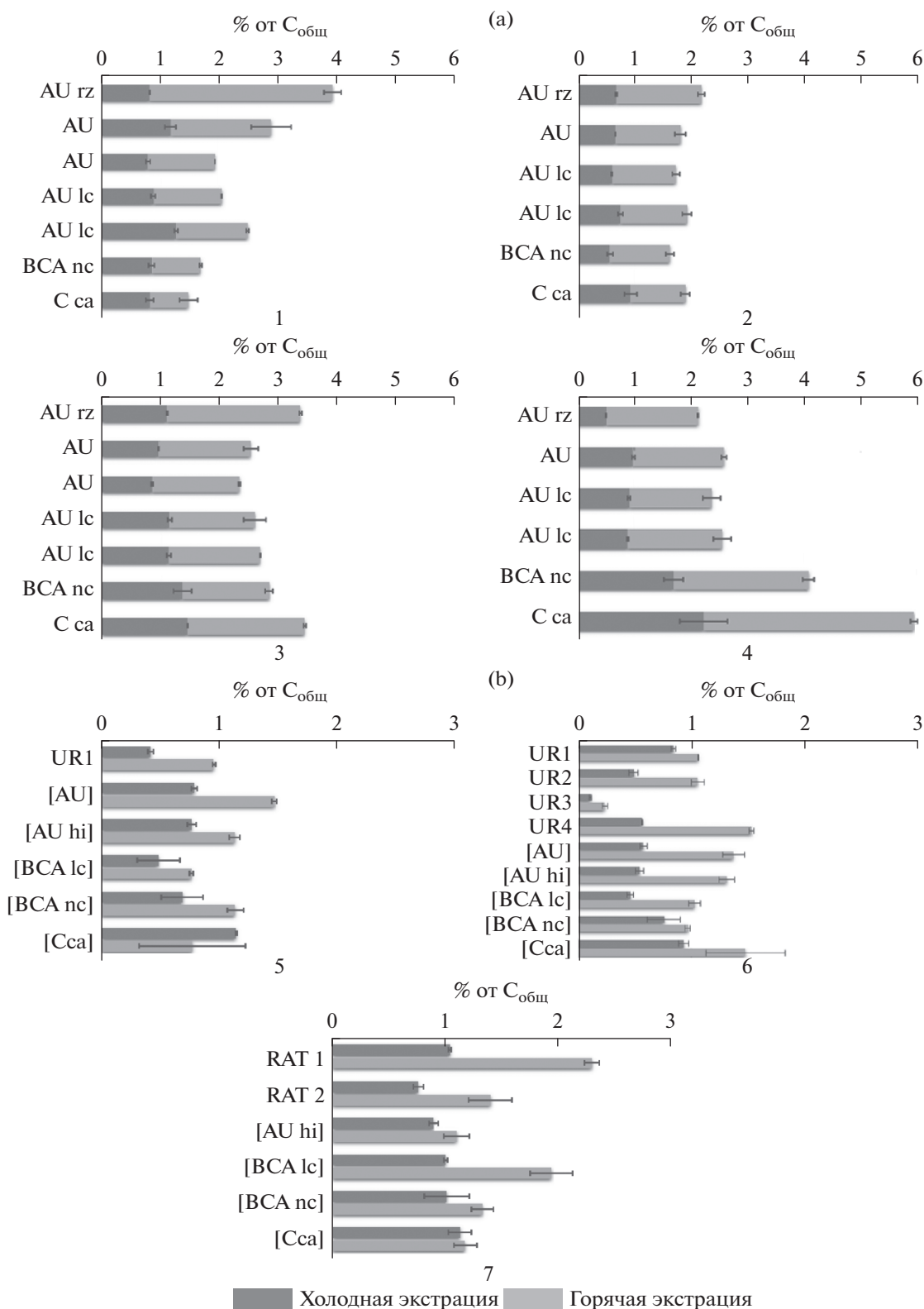


Рис. 2. Профильное распределение доли водорастворимого углерода, полученного методом холодной и горячей экстракции, в общем пуле органического вещества: а – черноземов Ростовской агломерации, % от C_{общ}: 1 – целина, разрез 2105p; 2 – залежь, разрез 2002p; 3 – лесопарк, разрез 2101p; 4 – лесопарк, разрез 2001p; б – урбостратоземов Ростовской агломерации, % от C_{общ}: 5 – экранированного урбостратозема 2102pG; 6 – экранированного урбостратозема 2103pG; 7 – урбистратифицированного чернозема 2101pG. Здесь и на рис. 3, 5 вертикальные линии (“усы”) обозначают ошибку среднего.

Таблица 2. Данные дисперсионного анализа, полученные с помощью критерия Краскела-Уоллиса, для парного сравнения содержания С водорастворимого, мг/л в горизонтах естественных почв (звездочкой отмечены статистически достоверные значения при $p < 0.05$)

Разрез-горизонт	2105р, AUtz	2105р, AU	2105р, AU'	2002р, AUtz	2002р, AU	2101р, AUtz	2101р, AU	2101р, AU'	2101р, AUtz	2101р, AU
Поверхностные горизонты, $n = 30$										
2105р, AUtz		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2105р, AU	0.0495*		0.0495*	0.5127	0.0495*	0.0495*	0.1266	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2105р, AU'	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2002р, AUtz	0.0495*	0.5127	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2002р, AU	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.8273
2101р, AUtz	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2101р, AU	0.0495*	0.1266	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*
2101р, AU'	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*
2101р, AUtz	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2101р, AU	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.8273	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
Средние горизонты, $n = 24$										
Разрез-горизонт	2105р, AU hi	2105р, BCA lc	2002р, AU hi	2002р, BCA lc	2101р, AU hi	2101р, BCA lc	2001р, AU hi	2001р, BCA lc	2101р, AUtz	2101р, AU
2105р, AUhi		0.0495*	0.0495*	0.126	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2105р, BCAlc	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2002р, AUhi	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.8273	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2002р, BCAlc	0.126	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2101р, AUhi	0.0495*	0.0495*	0.8273	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2101р, BCAlc	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2001р, AUhi	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.5127	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2001р, BCAlc	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
Подпочвенные горизонты, $n = 24$										
Разрез-горизонт	2105р, BCA nc	2105р, Cca	2002р, BCA nc	2002р, Cca	2101р, BCA nc	2101р, Cca	2001р, BCA nc	2001р, Cca	2101р, AUtz	2101р, AU
2105р, BCA nc		0.0495*	0.0495*	0.2752	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2105р, Cca	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2002р, BCA nc	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.5127	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2002р, Cca	0.2752	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.8273
2101р, BCA nc	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*		0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2101р, Cca	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2001р, BCA nc	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*
2001р, Cca	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.1266	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*	0.0495*

(профиль 2102pG). Распределение как общего органического углерода, так и ВОВ по профилю погребенных почв аналогично распределению, выявленному для нативных черноземов. Единственное отличие состоит в том, что общее количество этих соединений во всех горизонтах погребенной почвы статистически достоверно меньше, чем в естественной почве (при уровне значимости $p < 0.05$). Исключение составляет лишь горизонт Cca. Это и понятно: из-за отсутствия поступления свежих органических веществ вследствие погребения почвы не происходит образования и миграции гуминовых веществ, которые экстрагируются водным раствором (в частности, низкомолекулярных органических кислот, аминокислот, белков, полипептидов и липидов почвы). Подвижные гуминовые вещества, накопленные в период, предшествующий антропогенному воздействию, минерализуются либо превращаются в более устойчивые формы за счет взаимодействия с кальцием, которого много в этих горизонтах. Фактически мы диагностируем остаточное содержание подвижных гуминовых веществ, которые ранее относили к фульвокислотам.

В урбостратоземах регистрируется тенденция к преобладанию более труднорастворимой фракции независимо от генезиса урбиковых горизонтов (рис. 2 (5–7)). Следует отметить, что в погребенной почве наблюдается значительное уменьшение содержания легкорастворимой фракции по сравнению с нативными черноземами. В это же время, хотя количество органических соединений, экстрагируемых горячей вытяжкой, уменьшается, их доля от общего содержания органического углерода остается примерно на том же уровне, что и в нативном черноземе. Это также подтверждает наши выводы о том, что в погребенных горизонтах черноземов присутствуют подвижные гуминовые вещества, оставшиеся от периода до погребения под антропогенной толщей. Исследования фракционно-группового состава гумуса погребенных черноземов показали, что процессы гумификации в них замедляются, гуминовые вещества не регенерируются, циклы углерода и азота в погребенных и запечатанных почвах значительно трансформируются [2]. Не исключено, что разложение бурых гуминовых кислот и связанных с ними фульвокислот (ГК1 и ФК1) приводит к образованию ряда промежуточных продуктов разложения, которые поддерживают систему гуминовых веществ в состоянии динамического равновесия в течение всего периода их постепенной минерализации (вплоть до полного исчезновения).

Азот в составе водорастворимого органического вещества. Еще одним показателем качественного состава ВОВ является содержание в нем азота. Согласно литературным данным [11], азот является частью всех фракций гумуса, причем в черноземах его доля в наименее подвижной части — ГК и гумина — составляет до 70%. На долю азота неспецифи-

ческих органических соединений приходится около 10%; он представлен преимущественно азотом аминокислот и аммонийным азотом. Примерно 10% азота обнаруживается в фульвокислотах, причем более 70% от этого количества представлено гидролизуемыми соединениями — азотом аминов, аммонийным азотом (по 37–48% каждой формы) и азотом аминокислот (11–13%).

Анализ водорастворимого азота (N-ВОВ) показал, что его доля в ОВ почв Ростовской агломерации отличается в почвах разного вида использования (табл. 3). В целинном и залежном черноземах, как и в черноземах лесопарков, количество водорастворимого азота аналогично водорастворимому углероду вниз по профилю уменьшается, что сопряжено с уменьшением количества общего специфического органического вещества в целом (рис. 3). Уменьшение его содержания статистически достоверно вплоть до горизонта ВСаIc. Нижележащие горизонты ВСаnc, Cca и сам горизонт ВСаIc по содержанию водорастворимого азота однородны и не показывают достоверных различий между собой. Однако в отличие от водорастворимых форм углерода, в случае с водорастворимым азотом наблюдается плавное уменьшение его относительной части в общем азоте вниз по профилю. Исключение составляет чернозем миграционно-сегрегационный лесопарка с проявлениями признаков гидроморфизма в нижней части профиля (разрез 2001p, рис. 4). В этой почве наблюдается рост относительной части водорастворимого азота в общем азоте в подпочвенном горизонте.

Известно, что отношение C/N в черноземных почвах является достаточно стабильным показателем. В гумусовых горизонтах эта величина обычно колеблется в пределах 12–13, что указывает на богатство гумуса этих почв азотистыми соединениями. Вниз по профилю отношение C/N уменьшается, и это означает, что в составе гуминовых веществ увеличивается доля соединений, в которые азот входит в качестве структурного компонента [11]. Вычисление отношения $C_{\text{общ}}/N_{\text{общ}}$ в исследуемых почвах показало, что вниз по профилю этот показатель сужается только для целинных/залежных почв и почв под лесопарками, тогда как для урбопочв он практически не изменяется с глубиной. Это возможное свидетельство представленности азота в средней и нижней частях антропогенно-преобразованных почв иными формами соединений, чем в черноземах естественного сложения. Чем больше содержание легкоокисляемого водорастворимого органического вещества, тем больше содержит почва азота, который может быть усвоен растениями. Отношение $C_{\text{ВОВ}}/N_{\text{ВОВ}}$ свидетельствует о том, что в составе водорастворимого органического вещества азот представлен легкогидролизуемыми соединениями.

При сравнении разных экстракций водорастворимого органического вещества можно отметить

Таблица 3. Содержание различных форм азота в почвах Ростовской агломерации

Горизонт	Глубина отбора	В почве		N-ВОВ, мг/л					
		N-OB, %	C/N	холодная экстракция		горячая экстракция		сумма	
				мг/л	C/N	мг/л	C/N	мг/л	C/N
Calcic Chernozem (Pachic), чернозем миграционно-сегрегационный, целина.									
Персиановская степь. Разрез 2105p									
AU rz	0–9	0.328	13.0	2.28	12.3	7.51	14.0	9.79	13.7
AU	9–44	0.224	11.2	2.06	15.3	3.83	11.9	5.89	13.1
AU	44–63	0.141	9.1	1.06	17.1	2.24	11.5	3.30	13.3
AU hi	63–80	0.110	8.3	0.46	28.7	1.36	12.7	1.82	16.8
BCA lc	80–92	0.076	7.0	0.44	26.8	0.8	14.1	1.25	18.5
BCA nc	92–120	0.042	5.0	0.12	40.2	0.44	10.6	0.56	17.1
C ca	120–дно	0.040	3.0	0.07	40.3	0.34	6.5	0.41	12.3
Calcic Chernozem (Pachic), чернозем миграционно-сегрегационный, старая залежь.									
Ботанический сад. Разрез 2002p									
AU rz	0–15	0.198	11.5	1.50	15.0	3.87	13.2	5.37	13.7
AU	15–50	0.174	10.8	1.07	15.9	2.44	12.6	3.51	13.6
AU hi	50–65	0.156	10.4	0.79	16.5	1.94	13.2	2.73	14.2
BCA lc	65–90	0.109	10.1	0.84	12.8	1.23	14.3	2.06	13.7
BCA nc	90–110	0.069	7.7	0.42	12.0	0.57	17.4	0.98	15.2
C ca	110–150	0.047	5.3	0.34	15.0	0.13	41.6	0.47	22.6
Calcic Chernozem (Pachic), чернозем миграционно-сегрегационный, лесопарк.									
Ростов-на-Дону. Разрез 2101p									
AU rz	0–15	0.273	12.5	3.83	9.9	6.81	11.4	10.64	10.8
AU	20–30	0.216	12.4	2.22	11.7	3.69	11.4	5.91	11.5
AU	50–60	0.184	12.3	1.77	11.0	3.13	10.8	4.90	10.9
AU hi	70–95	0.138	10.7	1.50	11.5	1.96	11.0	3.45	11.2
BCA lc	95–120	0.093	10.0	0.63	16.9	1.17	12.4	1.79	13.9
BCA nc	120–145	0.066	8.5	0.50	15.4	0.63	13.2	1.13	14.2
C ca	145–160	0.049	6.9	0.33	15.0	0.31	21.8	0.64	18.3
Calcic Chernozem (Pachic), чернозем миграционно-сегрегационный, лесопарк.									
Батайск. Разрез 2001p									
AU rz	0–5	0.264	15.3	2.10	9.2	7.14	9.3	9.24	9.3
AU	5–50	0.184	10.2	1.89	9.5	3.32	9.1	5.21	9.2
AU hi	50–70	0.118	9.8	1.02	10.0	1.82	9.3	2.84	9.5
BCA lc	70–90	0.091	8.6	0.47	14.4	1.17	11.2	1.64	12.1
BCA nc	90–130	0.063	6.8	0.79	9.1	1.02	10.1	1.81	9.7
C ca	130–150	0.036	8.3	0.91	7.3	0.77	14.5	1.68	10.6
Technic Chernozem (Calcic), урбистратифицированный чернозем, селитебная зона.									
Ростов-на-Дону. Разрез 2101pG									
RAT 1	0–5	0.210	13.5	2.50	11.9	1.62	40.5	4.12	23.1
RAT 2	5–22	0.120	11.5	0.73	15.9	1.72	11.3	2.45	12.6
[AU hi]	140–170	0.090	13.0	0.81	13.1	1.12	11.1	1.93	11.9
[BCA lc]	170–200	0.060	11.2	0.51	16.8	1.61	8.0	2.12	10.0
[BCA nc]	200–230	0.040	12.5	0.39	13.1	0.78	8.6	1.17	10.1
[Cca]	230–250	0.030	11.7	0.18	22.1	0.75	5.6	0.93	8.7

Таблица 3. Окончание

Горизонт	Глубина отбора	В почве		N-BOB, мг/л					
		N-OB, %	C/N	холодная экстракция		горячая экстракция		сумма	
				мг/л	C/N	мг/л	C/N	мг/л	C/N
Urbic Technosol, экранированный урбостратозем, селитебная зона. Ростов-на-Дону. Разрез 2102pG									
UR1	0–22	0.094	12.0	1.88	2.5	1.15	9.4	3.03	5.1
[AU]	50–83	0.128	10.2	1.16	8.9	1.91	10.0	3.07	9.6
[AU hi]	83–103	0.087	9.7	0.79	8.1	0.68	13.9	1.47	10.8
[BCA lc]	103–116	0.062	12.9	0.42	9.1	0.48	12.7	0.90	11.0
[BCA nc]	116–133	0.049	7.8	0.35	7.5	0.29	14.8	0.64	10.8
[Cca]	133–193	0.038	6.6	0.88	3.2	0.13	14.8	1.01	4.7
Urbic Technosol, экранированный урбостратозем, селитебная зона. Ростов-на-Дону. Разрез 2103pG									
UR1	5–50	0.12	13.3	1.21	11.2	1.73	9.9	2.94	10.4
UR2	50–70	0.22	12.6	1.43	9.6	3.47	8.5	4.9	8.8
UR3	70–88	0.13	31.2	0.65	7.4	1.42	6.8	2.07	7.0
UR4	88–100	0.17	11.5	1.20	9.3	2.86	10.5	4.06	10.1
[AU]	100–140	0.19	11.5	1.01	12.0	2.20	13.6	3.21	13.2
[AU hi]	140–170	0.15	9.9	0.61	13.4	2.08	9.5	2.69	10.3
[BCA lc]	170–200	0.12	11.8	0.44	14.7	1.49	12.1	1.93	12.7
[BCA nc]	200–230	0.08	10.1	0.33	19.0	0.74	10.6	1.07	13.2
[Cca]	230–250	0.06	12.7	0.75	9.5	0.6	18.7	1.35	13.6

явное доминирование азота в органическом веществе горячей экстракции практически во всех изученных почвах (табл. 3, рис. 4). По данным Орлова и Овчинниковой [11], на первых стадиях гумификации в составе азотсодержащих гумусовых веществ преобладают подвижные компоненты, в ходе гумификации азот закрепляется в негидролизуемой части гумусовых веществ. Поэтому обогащение органического вещества почвы нижних горизонтов азотом указывает на преобладание здесь гумусовых веществ более устойчивых к минерализации, а среди азотсодержащих структур свидетельствует о преобладании азота гетероциклов.

Коэффициенты экстинкции. Электронные спектры поглощения и коэффициенты экстинкции активно используют при изучении природы гумусовых веществ, они входят в состав их диагностических признаков [9]. Характер электронных спектров гуминовых кислот и соответственно их окраска обусловлены развитой системой сопряженных двойных связей: это кратные углерод-углеродные (этенил) и углерод-кислородные (карбонил) связи, входящие в состав хромофоров. Именно ароматические фрагменты обуславливают окраску гумусовых кислот, алифатическая составляющая в формировании этого свойства не участвует [8]. Алифатические боковые цепи, не несущие двойных связей, такие как полисахариды, полипепти-

ды, насыщенные углеводороды, входящие прежде всего в состав BOB, практически не окрашены. Поэтому по данным оптических плотностей ГК и при вычислении с их помощью коэффициента экстинкции можно характеризовать отношение углерода ароматических сеток к углероду боковых радикалов. Величина коэффициента экстинкции характеризует интенсивность поглощения. Чем она больше, тем больше интенсивность поглощения. Это позволяет допустить наличие в составе органического вещества конденсированных структур. С этой точки зрения фракция BOB, получаемые в результате холодной и горячей экстракции, различаются весьма заметно (табл. 1). В черноземе целинного участка в горизонте А коэффициенты экстинкции больше в растворах BOB_{hot}. В средней части профиля (в горизонтах AU и AUhi) эти показатели для BOB_{cold} и BOB_{hot} примерно равны, а в горизонте BCAnс и материнской породе фракция BOB_{hot} напротив характеризуется очень низким коэффициентом экстинкции. Низкие коэффициенты экстинкции характерны для BOB_{hot} из материнских пород всех изученных почв. Исключение составляет чернозем лесопарка (разрез 1603), формирующийся в условиях антропогенного подтопления. Низкие величины коэффициентов экстинкции характерны и для урбиковых горизонтов, так как эти горизонты характеризуются срав-

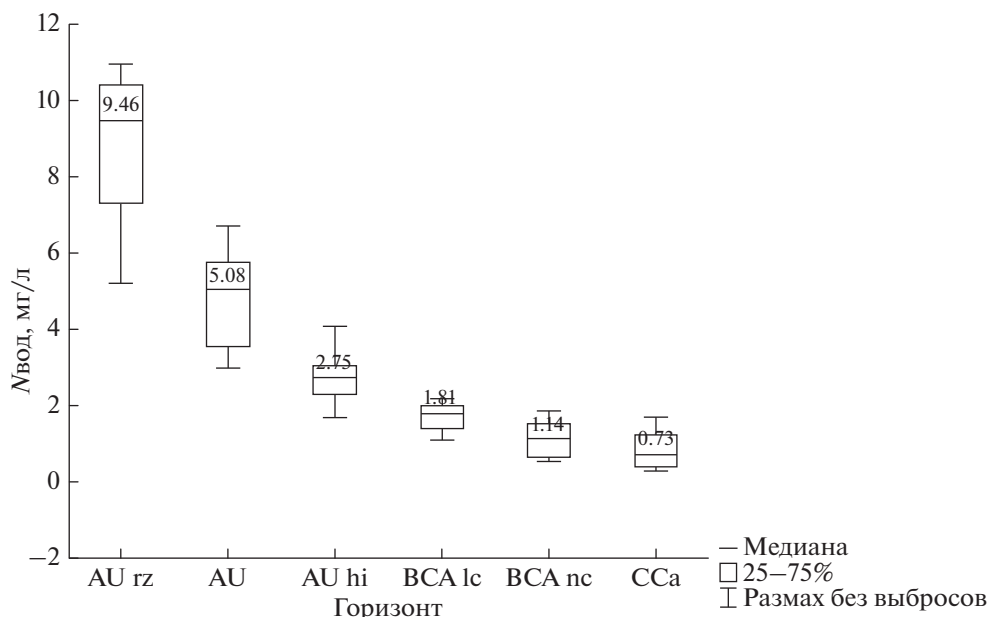


Рис. 3. Характеристика медианы и межквартильного размаха для водорастворимого азота в профилях естественных почв Ростовской агломерации.

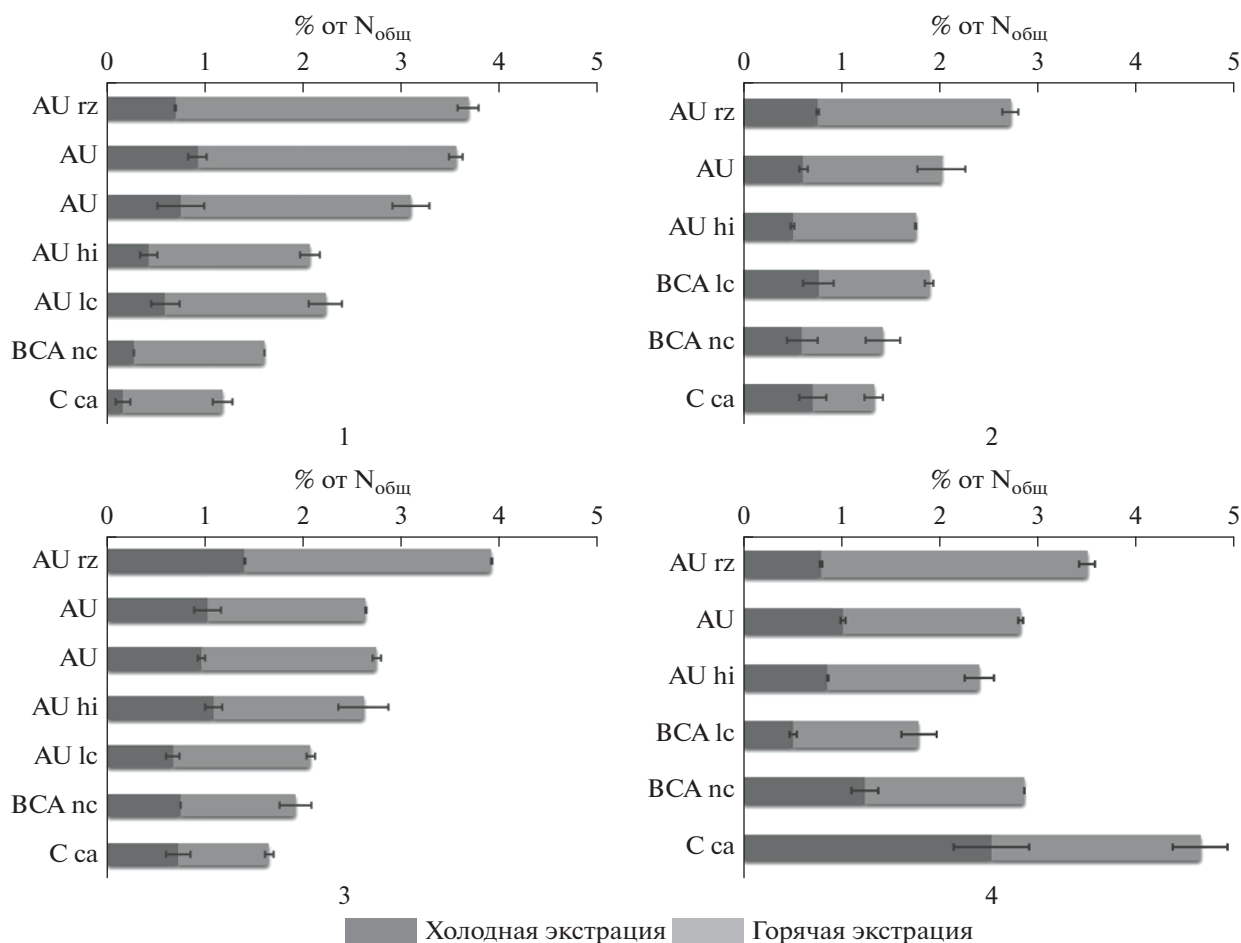


Рис. 4. Профильное распределение доли водорастворимого азота, полученного методом холодной и горячей экстракции, в общем пуле органического азота, % от $N_{общ}$: 1 – целина, разрез 2105р; 2 – залежь, разрез 2002р; 3 – лесопарк, разрез 2101р; 4 – лесопарк, разрез 2001р.

нительной “молодостью”, учитывая их небольшую мощность и погребение под другими более поздними наслоениями. В то же время поверхностный гор. UR1 (2103pG), значительно более мощный и, судя по особенностям его морфологии, сформированный при участии привезенного материала из гумусово-аккумулятивного слоя чернозема, характеризуется и более высокими коэффициентами экстинкции. В целом для водорастворимого вещества урбиковых горизонтов коэффициенты экстинкции меняются в широком диапазоне, что определяется прежде всего генезисом горизонта и его возрастом. Таким образом, наиболее высокие величины оптической плотности в УФ-диапазоне характерны только для поверхностной дернины темногомусовых горизонтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доля углерода водорастворимых компонентов (ВОВ) в составе органического вещества почв Ростовской агломерации оценивается как “очень высокая” (от 2 до 5% от $C_{\text{общ}}$). В черноземе обыкновенном — естественной почве агломерации — наблюдается общая закономерность: вниз по профилю абсолютное содержание водорастворимого углерода значительно уменьшается вслед за уменьшением количества общего органического углерода. Независимо от вида землепользования максимальное содержание ВОВ приурочено к дернине темногомусового горизонта, сразу за его пределами даже в горизонте А наблюдается почти двукратное сокращение содержания этой формы углерода. ВОВ дернины темногомусового горизонта характеризуется и более высокими величинами оптической плотности.

Под лесными насаждениями сохраняется общий тренд: количество водорастворимого углерода вниз по профилю уменьшается, однако разница по этому показателю между поверхностным горизонтом и глубокими почвенными горизонтами не столь значительна. В нижних горизонтах почв лесопарковой зоны доля водорастворимой части $C_{\text{орг}}$ вносит значительный вклад в общий пул углерода, сравниваясь или превосходя значения данного показателя в поверхностных горизонтах.

Для урбостратоземов характерна тенденция к преобладанию водорастворимого углерода горячей экстракции в урбиковых горизонтах вне зависимости от их происхождения. В погребенной почве наблюдается значительное уменьшение содержания легкорастворимой фракции по сравнению с нативными черноземами. Но, хотя количество органических соединений, экстрагируемых горячей вытяжкой, уменьшается, их доля от общего содержания органического углерода остается примерно на том же уровне, что и в нативном черноземе. То есть в погребенных гумусово-аккумулятивных горизонтах присутствуют подвижные гуминовые веще-

ства, оставшиеся от периода, предшествующего погребению почвы под антропогенной толщей.

В нижних горизонтах органическое вещество обогащено азотом. Во всех изученных почвах здесь наблюдается явное доминирование этого элемента в водном экстракте, что находит отражение в увеличении показателя C/N. Это свидетельствует о преобладании в глубоких почвенных горизонтах, как и в погребенных горизонтах, более устойчивых к минерализации гумусовых веществ, а из азотсодержащих структур — азота гетероциклов. Низкие значения коэффициентов экстинкции ВОВ в этих горизонтах говорят о наличии низкомолекулярных веществ фенольной природы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90085.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбов С.Н. Генезис, классификация, экологическая роль городских почв юга европейской части России (на примере Ростовской агломерации). Дис. ... докт. биол. н. М., 2018.
2. Горбов С.Н., Безуглова О.С. Специфика органического вещества почв Ростова-на-Дону // Почвоведение. 2014. № 8. С. 953–962.
3. 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>
4. Захаров С.А. Почвы Ростовской области и их агрономическая характеристика. Ростов-на-Дону, 1946. 123 с.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
6. Когут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1998. № 7. С. 794–802.
7. Луценко Т.Н., Аржанова В.С., Ким Н.Ю. Трансформация растворенного органического вещества почвы на вырубках пихтово-елового леса (Приморский край) // Почвоведение. 2006. № 6. С. 674–680.
8. Околелова А.А. Электронные спектры поглощения гуминовых кислот черноземов и каштановых почв и их изменения при орошении // Агрохимия. 1983. № 11. С. 92.
9. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.
10. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
11. Орлов Д.С., Овчинникова М.Ф. Различные формы соединений азота в сероземе, черноземе и дерно-

- во-подзолистой почве // Агрохимия. 1966. № 1. С. 35–44.
12. Паников Н.С., Садовникова Л.К., Фридланд Е.В. Не-специфические соединения почвенного гумуса. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 144 с.
 13. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почво-образование (методы и результаты изучения). Л.: Наука, 1980. 222 с.
 14. 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.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164. <https://doi.org/10.7868/s0032180x14100104>
 15. Укенов Б.С. Влияние государственной лесополосы “Гора Вишневая – Каспийское море” на прилегающие черноземы Степного Предуралья. Автореф. дис. ... канд. биол. н. Уфа, 2018.
 16. De Feudis M., Cardelli V., Massaccesi L., Hofmann D., Berns A.E., Bol R., Cocco S., Corti G., Agnelli A. Altitude affects the quality of the water-extractable organic matter (WEOM) from rhizosphere and bulk soil in European beech forests // Geoderma. 2017. V. 302. P. 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.015>
 17. Gregoricha E.G., Beareb M.H., Stoklasa U., St-Georges P. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils // Geoderma. 2003. V. 113. P. 237–252. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00363-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00363-4)
 18. Gutiérrez-Girón A., Díaz-Pinés E., Rubio A., Gavilan R.G. Both altitude and vegetation affect temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in Mediterranean high mountain soils // Geoderma. 2015. V. 237. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.08.005>
 19. McCarthy J.F. Carbon fluxes in soil: long term sequestration in deeper soil horizons // J. Geographical Sci. 2005. V. 15(2). P. 149–154.
 20. Ohno T., He Z., Sleighter R.L., Honeycutt C.W., Hatcher P.G. Ultrahigh resolution mass spectrometry and indicator species analysis to identify marker components of soil- and plant biomass- derived organic matter fractions // Environmental Science & Technology. 2010. V. 44. P. 8594–8600.
 21. Tagiverdiev S.S., Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Skripnikov P.N. The content and distribution of various forms of carbon in urban soils of Southern Russia on the example of Rostov agglomeration // Geoderma Regional. June 2020. V. 21. e00266 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00266>
 22. Usiri D.A.N., Johnson Ch.E. Characterizations of organic matter in northern hardwood forest soil by ¹³C NMR spectroscopy and chemical methods // Geoderma. 2003. V. 111(1–2). P. 123–149. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00257-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00257-4)
 23. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

Soluble Organic Matter in Rostov Agglomeration Soils

S. N. Gorbov¹, O. S. Bezuglova¹, P. N. Skripnikov¹, and S. A. Tishchenko^{1, *}

¹ Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

*e-mail: tishchenko@sfnedu.ru

The study of soil organic matter is a necessary step in solving many issues related to the rational exploitation of soil resources and forecasting the effects of techno-pedogenesis. The paper has discussed the soil profile accumulation and migration specifics of soluble organic matter (SOM) fraction isolated by cold and hot distilled water extraction. The organic carbon and organic nitrogen were determined on a TOC-L CPN Shimadzu carbon analyzer with the solid sample combustion. The soils were Calcic Chernozems (Pachic under natural steppe vegetation, their analogs under artificial tree plantations and urbostratozems (Urbic Technosols Molic, UrbicTechnosol и Technic Chernozem (Calcic)). The SOM takes only a small portion of soil organic matter not exceeding 0.14% of the soil in whole, which corresponds to 4.0% in terms of C org. For urbic horizons of anthropogenic soils this value is much lower and amounts to 0.04% to soil or about 2.0% in terms of C org. There is a slight accumulation of SOM at the level of carbonate barrier in horizon B in natural soils. The migration organic matter in the soil profile is most pronounced in surface humus accumulative horizons under forest vegetation. Anthropogenic soils are characterized by a morphological two-fold profile and is characterized by the chaotic distribution of SOM in anthropogenic thickness and a smooth decline in the buried chernozem. Besides, long-term conservation of soil profile under impermeable coatings contributed to the fact that in the lower part of the profile of anthropogenic soils there is no SOM accumulation at the level of the carbonate barrier, as its absolute values, as in the case of recalculation on organic matter of the soil. The low extinction coefficients of SOM in these horizons indicate the presence of low molecular weight substances of a phenolic nature. The C/N ratio decreases down the profile for virgin and fallow chernozems and does not change with depth for urban soils. The hot extraction C/N ratio was consistently high in all soils, which indicates the predominance of resistant to mineralization humic substances and the nitrogen heterocycles predominance among nitrogen-containing structures.

Keywords: Calcic Chernozems, Urban forest parks, Water-soluble carbon, Water-soluble nitrogen