

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРОДСКИХ ПОЧВ

УДК 631.43

### ОСОБЕННОСТИ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА В СВЯЗИ С СООТНОШЕНИЕМ УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И КАРБОНАТОВ В ПОЧВАХ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

© 2021 г. С. С. Тагивердиев<sup>а</sup>, О. С. Безуглова<sup>а, \*</sup>, С. Н. Горбов<sup>а</sup>,  
П. Н. Скрипников<sup>а</sup>, Д. А. Козырев<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Южный федеральный университет, Стачки, 194/1, Ростов-на-Дону, 344090 Россия

\*e-mail: lola314@mail.ru

Поступила в редакцию 26.01.2021 г.

После доработки 05.04.2021 г.

Принята к публикации 07.04.2021 г.

Цель исследования – изучение трансформации почвенной структуры при урбопедогенезе и оценка связи между размерами агрегатов и содержанием углерода органического вещества и карбонатов. Исследовали почвы Ростовской агломерации, сравнивали состав агрегатов в черноземах миграционно-сегрегационных (Calcic Chernozems) и урбостратоземах на погребенных черноземах (Urbic Technosol). Агрегатный состав определяли методом Саввинова, содержание углерода – на приборе TOC-L CPN Shimadzu. Для установления различий в составе агрегатов разных генетических горизонтов выполнен расчет критерия Стьюдента и графический анализ доли структурных фракций в зависимости от содержания органического и неорганического углерода, сглаженных методом наименьших квадратов. Установлено, что доля воздушно-сухой фракции >10 мм в горизонтах урбик и в погребенных горизонтах достоверно увеличивается на 30% и больше. Это происходит за счет уменьшения доли фракций в диапазоне 7–0.5 мм. Достоверные различия в содержании водостойчивых фракций отмечены только в паре AU–[AU]: в погребенном горизонте уменьшается доля водостойчивых агрегатов размерностью >3 и 2–1 мм, и значительно возрастает вклад агрегатов 0.5–0.25 мм. Вероятно, эти изменения обусловлены предшествовавшим погребению урбаногенным распылением структуры. Распределение агрегатов по фракциям не связано с содержанием органического и неорганического углерода. Однако для каждой структурной фракции имеются области значений содержания органического и неорганического углерода, в которых сокращается интенсивность структурообразования. Это проявляется резким уменьшением содержания фракции в погребенных профилях относительно нативных.

**Ключевые слова:** структурно-агрегатный состав почв, чернозем миграционно-сегрегационный (Calcic Chernozems), урбостратозем (Urbic Technosol), антропогенная трансформация почв, органический углерод почв

**DOI:** 10.31857/S0032180X21090124

#### ВВЕДЕНИЕ

С ростом урбанизации возрастает актуальность всестороннего изучения урбопедогенеза и в целом антропогенной трансформации почв [15, 28]. Структурно-агрегатный состав почвы – свойство, которое представляется результатом сложной системы взаимодействий, при этом он определяет водно-воздушный, температурный режимы почв, влияет на микробиологическую активность почв и обеспечивает доступность питательных элементов для растений [3, 21, 31, 32]. Процесс урбопедогенеза сопровождается снижением способности почвы выполнять свои экологические функции, прежде всего, в части поглощения и нейтрализации поллютантов различного рода, препятствия перемещению их в сопредельные среды и за-

грязнению почв сельхозугодий, прилегающих к городским границам [1, 12, 30]. Исходя из этого, изучение трансформации структуры почвы под влиянием урбопедогенеза – актуальная задача современного почвоведения.

Цель исследования – сравнить соотношение структурных фракций в различных горизонтах черноземов миграционно-сегрегационных и урбостратоземов на черноземах в Ростовской агломерации и выяснить роль углерода в процессах структурообразования.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили на территории Ростовской агломерации, самой крупной на юге

России, центром которой является город Ростов-на-Дону. Объектами выступили почвы разной степени трансформации, среди которых выделены черноземы миграционно-сегрегационные (Calcic Chernozems (Loamic, Pachic) городских рекреационных зон, трансформация которых минимальна, либо отсутствует, и урбостратоземы на черноземах (Urbic Technosol) [19, 26, 34]. Следует отметить, что большая часть территории Ростова-на-Дону, Аксая и прилегающих поселков располагается на водоразделах Приазовской равнины и пологих склонах надпойменных террас правого берега Дона.

В изученную выборку почвенных типов включены разрезы, приуроченные к водораздельным частям с мощным плащом (до 20 м) четвертичных лёссовидных суглинков, залегающих на морских неогеновых отложениях [6, 9, 10]. Всего заложено 35 разрезов, статистический анализ включал данные по 196 горизонтам.

Методологический подход предполагал разделение разрезов на выборки по генетическим горизонтам AU – темногумусовые, BSA – аккумулятивно-карбонатные, C – почвообразующая порода и их погребенные аналоги [AU], [BSA], [C] с дальнейшим сопоставлением их между собой. Горизонты урбик сгруппировали в два кластера по гранулометрическому составу: тяжелые URt – с содержанием частиц <0.01 мм 40–60%, и легкие URл – с содержанием частиц этой же размерности 10–40%. В основу такого разделения положен генезис горизонтов урбик: тяжелые горизонты образованы из материала естественных черноземов, легкие – в большей степени из привнесенного субстрата, так как для нативных черноземов содержание частиц размерностью <0.01 мм лежит в пределах 60–70% [6, 7].

Структурное состояние определяли методом Саввинова, который включает последовательное просеивание на ситах с разным диаметром ячеек образца почвы в сухом состоянии (сухое просеивание), а затем в воде (мокрое просеивание) [8].

Общий (ТС), неорганический (IC) и органический углерод (ТОС) определяли в общем образце почвы на анализаторе углерода TOC-L CPN Shimadzu в приставке для сухих образцов SSM-5000A. Анализ основан на высокотемпературном каталитическом сжигании пробы и последующем детектировании выделившегося углекислого газа. Анализ проходит в два этапа: общий углерод определяется путем сжигания пробы при температуре 900°C, неорганический – при 200°C с добавлением ортофосфорной кислоты. Органический углерод определяли путем вычета из общего – неорганического [35].

Статистический анализ включал в себя расчет и оценку критерия Стьюдента для выявления достоверных различий в содержании структурных фракций между горизонтами [14]. Поскольку при-

менение регрессионного анализа для установления связей между изучаемыми показателями не дало результата, был проведен графический анализ взаимосвязи содержания отдельных структурных фракций с органическим и неорганическим углеродом, интерполированных методом наименьших квадратов в программе STATISTICA. Такой анализ дает возможность отследить изменение связей структуры почв с органическим и неорганическим углеродом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены результаты статистической обработки данных по агрегатному составу (сухое просеивание) отдельных генетических горизонтов почв Ростовской агломерации. Анализ результатов по урбиковым горизонтам показал, что специфической для них является крупноореховатая фракция (>10 мм [18]), доля которой по сравнению с нативными почвами больше как в тяжелых горизонтах (критерий Стьюдента для пары сравнения URt–AU = 5.1 при  $n = 69$ ;  $P = 0.05$ ;  $t_{кр} = 1.99$ ), так и в легких (критерий Стьюдента для пары сравнения URл–AU = 4.3 при  $n = 64$ ;  $P = 0.05$ ;  $t_{кр} = 1.99$ ). При этом вклад зернистых фракций (3–2, 1–0.5 мм) в этих горизонтах уменьшается, а содержание фракций размерностью 0.5–0.25, <0.25 мм возрастает в горизонтах URл и уменьшается в горизонтах URt. Разница между горизонтами урбик и темногумусовыми горизонтами чернозема по структурным отдельностям этой размерности также статистически достоверна.

Изучение результатов структурного состава в городских почвах показало, что между агрегатным составом и количеством углерода прямые корреляции наблюдаются далеко не всегда. К примеру, содержание органического углерода в урбиковых горизонтах уступает только горизонтам AU, при этом содержание фракции >10 мм в урбиках достоверно больше относительно горизонтов AU, BSA и C. Такой эффект достигается за счет более высокой плотности горизонтов урбик [6], что связано с повышенной антропогенной нагрузкой на них. В то же время данные по фракции размерностью менее 0.25 мм, содержание которой в 2.6 раза больше в легких урбиковых горизонтах, объясняют большее количество органического углерода в этих почвах (табл. 2).

Многие авторы отмечают взаимосвязь содержания органического углерода со структурным состоянием почв [2, 4, 23, 27, 29]. Так, в некоторых почвах Британии обнаружены корреляции, которые указывают на увеличение доли агрономически ценных водоустойчивых фракций с ростом содержания органического углерода [33]. В то же время в черноземе обыкновенном Ростовской области в ходе трехлетнего эксперимента

**Таблица 1.** Содержание структурных фракций в генетических горизонтах почв Ростовской агломерации (сухое просеивание) (здесь и далее приведены значения  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее арифметическое значение,  $m$  – ошибка среднего,  $n = 33-52$ )

Горизонт	Размер структурной фракции (мм), %								
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0.5	0.5–0.25	<0.25
URт	37.9 ± 4.3	11.3 ± 2.2	10.3 ± 2.0	12.3 ± 2.3	4.7 ± 0.8	10.8 ± 2.8	5.3 ± 1.3	3.5 ± 0.9	3.9 ± 0.9
URл	31.3 ± 5.7	9.7 ± 1.8	9.9 ± 1.8	10.8 ± 2.1	4.7 ± 1.1	8.2 ± 2.0	6.3 ± 1.3	9.1 ± 5.4	10.0 ± 3.5
AU	18.3 ± 2.6	10.4 ± 0.8	12.0 ± 0.6	16.8 ± 1.1	7.8 ± 0.9	14.4 ± 1.3	9.1 ± 0.8	5.8 ± 0.6	5.4 ± 0.7
[AU]	35.0 ± 3.5	9.4 ± 1.5	8.9 ± 1.5	11.2 ± 1.9	5.6 ± 1.1	10.0 ± 2.8	7.7 ± 1.3	5.9 ± 1.1	6.3 ± 1.0
BCA	18.8 ± 3.5	12.8 ± 1.2	12.8 ± 1.1	15.3 ± 1.5	6.9 ± 0.6	12.6 ± 1.4	8.4 ± 0.7	5.9 ± 0.7	6.5 ± 0.9
[BCA]	30.6 ± 4.6	12.0 ± 1.1	9.9 ± 1.2	11.8 ± 1.7	6.4 ± 1.0	9.4 ± 1.8	7.1 ± 0.9	5.9 ± 0.9	6.9 ± 1.0
C	20.7 ± 3.7	11.0 ± 1.4	10.6 ± 1.2	12.6 ± 1.2	6.7 ± 0.9	12.1 ± 1.7	9.5 ± 1.4	7.7 ± 1.1	9.1 ± 2.6
[C]	32.8 ± 3.4	11.1 ± 1.8	9.0 ± 0.8	10.9 ± 1.1	6.4 ± 1.3	9.3 ± 1.9	8.0 ± 1.3	5.7 ± 1.2	6.8 ± 1.1

**Таблица 2.** Среднее содержание органического и неорганического углерода в генетических горизонтах почв Ростовской агломерации и критерий Стьюдента ( $t_{кр} = 2-2.04$ ) для сравнения пар горизонтов

Показатель	Горизонт							
	AU	[AU]	BCA	[BCA]	C	[C]	URт	URл
<i>n</i> (выборка)	52		47		33		37	
ТОС	3.01 ± 0.33	1.31 ± 0.11	0.75 ± 0.14	0.73 ± 0.09	0.29 ± 0.07	0.27 ± 0.03	1.97 ± 0.39	2.44 ± 0.25
Критерий Стьюдента	4.1		0.2		0.4		0.8	
IC	0.23 ± 0.12	0.23 ± 0.07	1.41 ± 0.21	1.27 ± 0.15	1.87 ± 0.13	1.48 ± 0.06	0.50 ± 0.11	0.59 ± 0.13
Критерий Стьюдента	0.9		0.8		3.5		0.6	

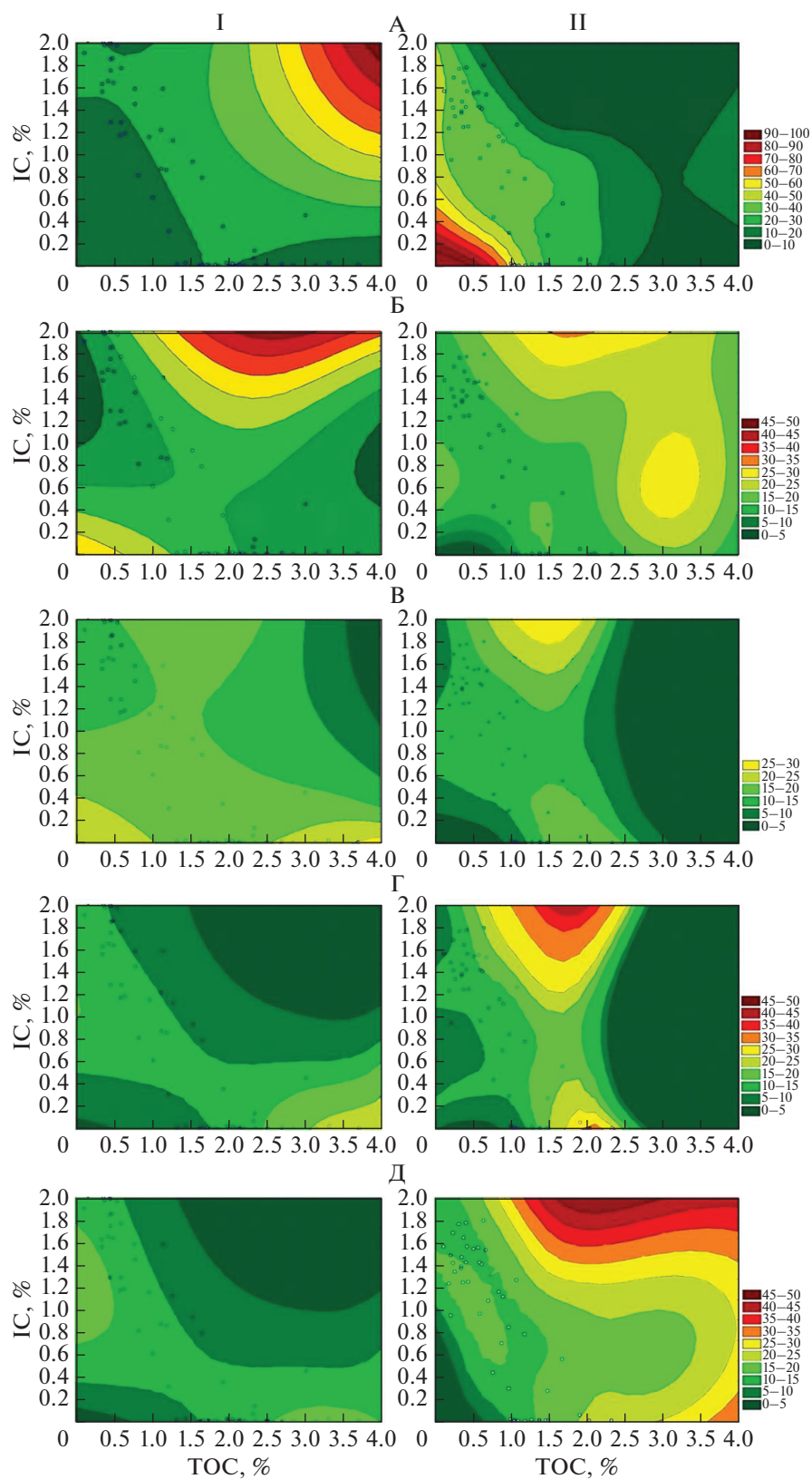
**Таблица 3.** Среднее содержание структурных фракций в генетических горизонтах почв Ростовской агломерации (мокрое просеивание)

Группа	Размер структурной фракции (мм), %					
	>3	3–2	2–1	1–0.5	0.5–0.25	<0.25
URт	12.1 ± 3.7	3.6 ± 1.9	8.8 ± 1.8	11.3 ± 1.5	17.5 ± 3.6	46.7 ± 4.4
URл	15.2 ± 3.3	2.9 ± 1.7	8.7 ± 1.3	8.8 ± 1.1	22.8 ± 2.0	41.6 ± 4.1
AU	15.7 ± 3.2	4.5 ± 0.8	12.3 ± 1.5	14.1 ± 1.2	15.2 ± 1.9	38.2 ± 3.8
[AU]	7.3 ± 2.5	4.5 ± 1.9	9.4 ± 1.6	14.6 ± 2.1	21.9 ± 2.5	42.3 ± 3.2
BCA	4.6 ± 2.1	2.8 ± 1.6	8.5 ± 1.1	13.9 ± 2.5	19.4 ± 2.0	50.8 ± 3.3
[BCA]	3.1 ± 0.8	3.5 ± 1.9	9.5 ± 1.8	13.1 ± 2.6	20.2 ± 2.6	50.6 ± 3.3
C	2.9 ± 1.2	1.6 ± 1.4	5.5 ± 1.0	6.5 ± 1.5	14 ± 2.6	69.5 ± 3.1
[C]	2.6 ± 1.1	3.6 ± 1.6	9.1 ± 1.1	8.5 ± 1.4	16.4 ± 3.7	59.8 ± 3.8

под люцерной было показано, что эти зависимости имеют сезонный характер и подвержены влиянию погодных условий. Если общая корреляция между содержанием водоустойчивых агрегатов (ВА) и валовым количеством органического углерода была очень слабой или отсутствовала, то осенью, с наступлением прохладной и дождливой погоды обнаруживалась прямая коррелятивная зависимость ВА от содержания гумуса ( $r = +0.512$ ), что обусловлено изменением его состава [4].

Мокрое просеивание (табл. 3) показало лучшую водоустойчивость агрегатов урбиковых горизонтов по сравнению с таковыми горизонтов

нативных и погребенных профилей, что также диссонирует с ожиданиями о качестве структурных отдельностей в урбопочвах. Вероятно, называется загрязнение поверхностных горизонтов ароматическими углеводородами нефтепродуктов, что весьма характерно для городских почв, особенно прилегающих к улицам с напряженным автомобильным трафиком [16, 17, 22, 24]. Органическим веществам поллютантов ароматической природы присущи преимущественно гидрофобные свойства [25], а согласно последним представлениям, гидрофобно-гидрофильные отношения в почве играют важнейшую роль в структурообразо-



**Рис. 1.** Изменение содержания воздушно-сухих фракций агрегатов: А – >10 мм; Б – 7–5 мм; В – 5–3 мм, Г – 2–1 мм, Д – 1–0.5 мм, в фазовых координатах содержания органического и неорганического углерода в нативном (I) и погребенном (II) профилях.

вании [20]. Если амфифильные органические вещества присоединяются своей гидрофильной частью к минеральной частице, а их гидрофобная часть взаимодействует с гидрофобными частями другой амфифильной органической частицы, то агрегат проявляет устойчивость к разрушающему действию воды [32].

Погребение черноземов под урбаногенными наслоениями накладывает отпечаток и на состояние водоустойчивости агрегатов. В группе горизонтов АU, по сравнению с [AU] достоверно больше содержание водоустойчивых агрегатов размером  $>3$  и  $2-1$  мм (критерий Стьюдента соответственно равен 2.4 и 2, при  $n = 67$ ;  $P = 0.05$ ;  $t_{кр} = 1.99$ ), и меньше содержание фракции  $0.5-0.25$  мм. В срединных и глубоких горизонтах ВСА – [ВСА] и С – [С] достоверные различия в состоянии водоустойчивых фракций не обнаружены.

Различные виды регрессионного анализа (линейная, логарифмическая, квадратичная, множественная) не дали надежных уравнений и описать взаимосвязи органического и неорганического углерода с агрегатным составом почв не представляется возможным. Величина коэффициента детерминации  $R^2$  не превышает значение 0.2, что говорит о низком влиянии углерода на содержание структурных фракций.

Нужно отметить, что регрессионная модель в условиях урбопедогенеза не может описать сложные взаимосвязи, существующие в системе содержание структурной фракции – содержание углерода, которые согласно данным многих исследований наблюдаются в естественных почвах [2, 4, 23, 27, 29, 33].

Для визуальной оценки этих связей провели графический анализ изоплет содержания фракции агрегатов в фазовой плоскости в координатах содержания органического и неорганического углерода в почве, интерполированных методом наименьших квадратов (рис. 1). Такой подход позволил сделать вывод о значительном преобразовании связей в результате погребения. Доля крупноореховатой фракции ( $>10$  мм) в профиле нативного чернозема (рис. 1, А-I) возрастает с одновременным ростом содержания углерода, в погребенном профиле – зависимости диаметрально противоположные (рис. 1, А-II). Для погребенных профилей график в широком диапазоне значений органического (1.5–3%) и неорганического (1.4–2%) углерода показал близкое к нулю содержание фракции, при этом наблюдается более резкий рост содержания фракции после плато в области 23–30%.

На рис. 1, Б показаны взаимосвязи между изучаемыми показателями и количеством агрегатов диаметром 7–5 мм. В нативном и погребенном профиле пик содержания фракции этой размерности находится в области высоких значений органического и неорганического углерода. Однако

в области низких значений ТОС и ИС графики различаются: в нативном профиле наблюдается постепенный рост, в погребенном профиле – резкое снижение.

Рис. 1, В описывает матрицу связей для фракции 5–3 мм. В погребенном профиле можно выделить ось высокого содержания фракции на уровне 1.5–2% ТОС и на протяжении всех значений ИС. В обе стороны от этой оси содержание фракции уменьшается, более резко – в сторону повышения ТОС. В нативном профиле тоже имеется такая ось, однако график более плавный, а при низком содержании неорганического углерода отмечается увеличение содержания фракции.

Графики на рис. 1, В (5–3 мм) и Г (2–1 мм) схожи между собой. Прослеживаются одинаковые закономерности смещения максимумов и минимумов содержания фракций при погребении.

На рис. 1, Д (1–0.5 мм) также видны резкие деформации взаимосвязей структурно-агрегатная фракция – органический углерод – неорганический углерод в погребенных горизонтах. В нативных профилях наблюдается постепенный выход на плато, в области совместных минимальных и максимальных значений отмечено уменьшение содержания фракций.

Можно отметить, что погребение почвенного профиля приводит к изменению характера взаимосвязей: структурно-агрегатная фракция – органический углерод – неорганический углерод. Чаще всего появляется множество пиков, общая форма графика значительно усложняется, проявляются области резкого уменьшения содержания фракций по сравнению с аналогичной фракцией в нативном черноземе, но сохраняются и схожие черты. Реже, для крупных фракций, форма графика противоположна. Разница обусловлена в первую очередь снижением общего количества органического углерода, особенно составляющих его лабильных веществ: углеводов, белков, водорастворимого гумуса [5, 10, 12] в погребенных профилях. Имеются работы, показывающие, что именно эти вещества играют существенную роль на начальных этапах структурообразования [2, 26]. Можно выдвинуть предположение, что в областях резкого уменьшения содержания фракций в фазовых плоскостях соотношения содержания органического и неорганического углерода погребенных почв, интенсивность структурообразования снижается, при этом для разных структурных фракций эти области уникальны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На уровне макроструктуры явным признаком урбопедогенеза является возрастание доли воздушно-сухой фракции  $>10$  мм как в горизонтах урбик, так и в погребенных горизонтах. По ито-

гам сухого просеивания разница между урбиковыми горизонтами тяжелыми (URt) и легкими (URл) заключается в большем содержании фракций 0.5–0.25 и <0.25 мм в легких горизонтах. Структура горизонтов урбик не проявляет стандартных связей с содержанием органического и неорганического углерода. Вероятно, в большей степени на процессы структурообразования в них влияют гранулометрический состав, уплотнение, наличие гидрофобных поллютантов.

Погребенная часть профиля урбопочв относительно нативных почв имеет тенденцию к увеличению содержания крупноореховатой фракции за счет доли агрономически ценных агрегатов размером 7–5, 5–3, 2–1, 1–0.5 мм. Водоустойчивость структуры – более стабильный показатель. Так, в сравнениях нативных и погребенных горизонтов обнаружено достоверное увеличение в погребенных темногумусовых горизонтах содержания фракции 0.5–0.25 мм за счет сокращения содержания агрегатов размерностью >3 и 2–1 мм.

Регрессионные модели не подходят для описания влияния разного углерода на содержание структурных фракций.

Графический анализ содержания структурной фракции в связи с содержанием органического и неорганического углерода, интерполированных методом наименьших квадратов, показал преобразование взаимосвязей в результате погребения. Выдвинуто предположение, что для каждой структурной фракции имеются свои области значений в фазовой плоскости соотношения содержания органического и неорганического углерода нативных почв, в которых происходит интенсивное структурообразование. В погребенных профилях, напротив, наблюдаются области резкого уменьшения содержания структурных фракций по сравнению с аналогичными горизонтами нативных почв.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания (Южный федеральный университет, проект № 0852-2020-0029) с использованием оборудования ЦКП “Биотехнология, биомедицина и экологический мониторинг” и ЦКП “Высокие технологии” Южного федерального университета. Исследование органического вещества 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. *Азовцева Н.А., Смагин А.В.* Динамика физических и физико-химических свойств городских почв при использовании солевых противогололедных средств // Почвоведение. 2018. № 1. С. 118–128.
2. *Артемьева З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
3. *Барбер С.А.* Биологическая доступность питательных веществ в почве. Механистический подход. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
4. *Безуглова О.С.* Гумусное состояние почв юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2001. 228 с.
5. *Безуглова О.С.* Погребенные почвы урболандшафтов и особенности их изучения // Состав и свойства почв и палеопочв разных условий формирования и методы их изучения. Новосибирск–Алтайский край, 1–6 августа 2018. Новосибирск, 2018. С. 13–16.
6. *Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н.* Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1153–1159.
7. *Безуглова О.С., Хырхырова М.М.* Почвы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2008. 352 с.
8. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
9. Геология СССР: Ростовская, Волгоградская, Астраханская области и Калмыцкая АССР. Геологическое описание / Под ред. Ф.А. Белова. М.: Недра, 1969. Т. 46. 666 с.
10. *Горбов С.Н.* Генезис, классификация и экологическая роль городских почв европейской части юга России (на примере Ростовской агломерации). Дис. ... докт. биол. н. М., 2018. 488 с.
11. *Горбов С.Н., Безуглова О.С.* Специфика органического вещества почв Ростова-на-Дону // Почвоведение. 2014. № 8. С. 953–962.
12. *Горбов С.Н., Безуглова О.С., Абросимов К.Н., Скворцова Е.Б., Тагивердиев С.С., Морозов И.В.* Физические свойства почв Ростовской агломерации // Почвоведение. 2016. № 8. С. 964–974.
13. *Дергачева М.И., Зыкина В.С.* Органическое вещество ископаемых почв. Новосибирск, 1988. 128 с.
14. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении М.: Кн. дом “Либроком”, 2010. 336 с.
15. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. М.: Наука/Интерпериодика, 2000. 185 с.
16. *Дубровская С.А.* Эколого-геохимическая характеристика загрязнения городских почв тяжелыми металлами и нефтепродуктами // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2013. № 1(39). С. 167–169.
17. *Завгородняя Ю.А., Бочарова Е.А., Кольцов Е.И.* Определение уровня загрязнения почв углеводородами методом автоматизированной ускоренной экстракции в субкритических условиях // Экология и промышленность России. 2012. № 2. С. 30–33. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2012-2-30-33>
18. *Захаров С.А.* Курс почвоведения. М.–Л., 1931. 550 с.
19. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

20. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества как система гидрофобно-гидрофильных соединений. Дис. ... д. б. н. М., 2006. 96 с.
21. Най П.Х., Тинклер П.Б. Движение растворов в системе почва–растение. М.: Колос, 1980. 365 с.
22. Наумова Н.Б. К вопросу об определении содержания органического углерода в почве // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(2). С. 98–103.
23. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. Коллективная монография. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2013. 756 с.
24. Околелова А.А. Нефтепродукты в почве и особенности их учета // Современное состояние черноземов. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2018. Т. 2. С. 150–158.
25. Околелова А.А., Безуглова О.С., Кастерина Н.Г. Нефтепродукты в почве. Терминология и проблемы учета // Живые и биокосные системы. 2013. № 4. <http://www.jbks.ru/archive/issue-4/article-16>
26. 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.
27. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
28. Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Будаков Д.А. Использование информационно-аналитической системы в почвенно-экологических исследованиях // Почвоведение. 2007. № 1. С. 23–30.
29. Хан Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М.: Наука, 1969. 142 с.
30. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лазарев В.И., Фрид А.С. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193.
31. Хэнкс Р.Дж., Ашкрофт Дж.Л. Прикладная физика почв. Влажность и температура почвы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 151 с.
32. Шейн Е.В., Верховцева Н.В., Быкова Г.С., Пашкевич Е.Б. Агрегатообразование в каолиновой суспензии при микробиологической модификации поверхности глины // Почвоведение. 2020. № 3. С. 351–357.
33. Chaney K., Swift R.S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils // J. Soil Sci. 1984. V. 35. P. 223–230.
34. 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. 181 p.
35. 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. 2020. V. 21.

## Aggregate Composition as Related to the Distribution of Different Forms of Carbon in Soils of the Rostov Agglomeration

S. S. Tagiverdiev<sup>1</sup>, O. S. Bezuglova<sup>1,\*</sup>, S. N. Gorbov<sup>1</sup>, P. N. Skripnikov<sup>1</sup>, and D. A. Kozyrev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090 Russia*

*\*e-mail: lola314@mail.ru*

The aim of the study was to investigate the transformation of soil structure during urban pedogenesis and to assess the relationship between the size of aggregates and the content of various forms of carbon. The soils of Rostov agglomeration were studied. We compared the composition of aggregates in Calcic Chernozems and Urbic Technosols. The aggregate structure was determined by the Savvinov method, and the carbon content was analyzed on a TOC-L CPN Shimadzu spectrometer. In order to establish differences in the composition of the aggregates of different genetic horizons, we calculated Student's criterion and graphical analysis of the percentage of structural fractions depending on the content of organic and inorganic carbon, interpolated by the least square's method. It was found that the percentage of air-dry fraction > 10 mm in the urbic and buried horizons increases reliably by 30% or more. It occurs by reducing the proportion of fractions in the range of 7–0.5 mm. Significant differences in the content of water-resistant fractions were observed only in the AU-[AU] pair: in the buried horizon, the fraction of water-resistant aggregates > 3 and 2–1 mm decreases, and the contribution of 0.5–0.25 mm aggregates increases significantly. It is possibly due to the pre-burial urban dispersion of structure. The fractional distribution of aggregates is not related to the content of organic and inorganic carbon. However, for each structural fraction, there are areas of values of these forms of carbon, in which the intensity of structure formation decreases. It is shown graphically by a sharp decrease in the content of the fraction in the buried profiles relative to the native ones.

*Keywords:* aggregate, Calcic Chernozems, Urbic Technosol, anthropogenic transformation, soil organic carbon