

УДК631.417

## **О локализации углерода в структурных фракциях черноземов и урбостратоземов**

Тагивердиев С. С.<sup>1</sup>, Безуглова О. С.<sup>1</sup>, Горбов С. Н.<sup>1</sup>, Сальник Н. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия;*  
stagiverdiev@sfedu.ru , osbesuglova@sfedu.ru , sngorbov@sfedu.ru ,  
salnik@sfedu.ru

**DOI: 10.18522/2308-9709-2022-42-6**

### *Аннотация*

Изучены общие закономерности распределения различных форм углерода (ТС, IC, ТОС) между структурными фракциями черноземов и урбостратоземов. В Ростовской агломерации заложили 8 разрезов. Для анализа в урбостратоземах отбирали горизонты UR, [AU], [BCA], а в черноземах AU, BCA. Полученные образцы просеивали на ситах с разным диаметром отверстий (сухое просеивание для определения структурного состояния методом Саввинова). В полученных фракциях определяли содержание углерода (ТС, IC, ТОС) на анализаторе ТОС-L CPN Shimadzu в приставке для сухих образцов SSM-5000A. Полученные выборки содержания углерода сравнивали по разным структурным фракциям с помощью критерия Вилкоксона для связанных выборок. Исследование показало, что общими для всего профиля черноземов миграционно-сегрегационных и урбостратоземов на черноземах является увеличение содержания органического углерода с уменьшением диаметра почвенных агрегатов. Такая же закономерность характерна для общего углерода. Неорганический углерод локализуется во фракции <0,25; 5–7; >10 мм. Минимальное содержание при этом характерно для фракции 1–2 мм.

*Ключевые слова:* чернозем, урбостратозем, органическое вещество почв, почвенные агрегаты, углерод.

## **The effect of humic substances on microbial activity of the soil under fruit trees**

Tagiverdiev Suleiman S.<sup>1</sup>, Bezuglova Olga S.<sup>1</sup>, Gorbov Sergey N.<sup>1</sup>, Salnik Nadezhda V.<sup>1</sup>

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

stagiverdiev@sfedu.ru , osbesuglova@sfedu.ru , sngorbov@sfedu.ru , salnik@sfedu.ru

**DOI: 10.18522/2308-9709-2022-42-6**

### *Abstract*

The general regularities of the distribution of various forms of carbon (TC, IC, TOC) between the structural fractions of chernozems and urbostratozems were studied. Eight transects were laid in Rostov agglomeration. The UR, [AU], and [BCA] horizons were selected for analysis in urban stratigraphic soils, and the AU and BCA horizons in chernozems. The obtained samples were sieved on sieves with different hole diameters (dry sieving to determine the structural state by the Savvinov method). In the obtained fractions the carbon content (TC, IC, TOC) was determined on a TOC-L CPN Shimadzu analyzer in the SSM-5000A dry sample setter. The resulting carbon content samples were compared across different structural fractions using the Wilcoxon criterion for related samples. The study showed that the increase in the organic carbon content with a decrease in the diameter of soil aggregates is common to the whole profile of migratory-segregation chernozems and urbostratozems on chernozems. The same pattern is characteristic of the total carbon. Inorganic carbon is localized in the fraction <0.25; 5-7; >10 mm. The minimum content is characteristic of the fraction of 1-2 mm.

*Keywords: chernozem, urbostratozem, soil organic matter, soil aggregates, carbon.*

### **Введение**

Роль углерода в процессах формирования и эволюции почв, как биокосной системы, неоспорима. Органическое вещество почв является источником энергии для микроорганизмов, увеличивая буферную способность почв, улучшает санитарно-защитные функции, участвует в структурообразовании, тем самым влияет на пористость и водно-воздушный режим, (Воронин, 1984; Данилова и др., 2012; ссылки). Неорганический углерод в почвах формирует геохимические барьеры, препятствуя загрязнению сопредельных сред, и является важным структурообразующим агентом (Глазовская, Богданова 2011; Безуглова и др., 2018). Среди многочисленных исследований влияния углерода на состояние структуры почв, работ, рассматривающих локализацию углерода в конкретных

структурных фракциях, мало (Tisdall, Oades, 1982). Чаще всего рассматриваются вопросы содержания углерода в микроструктурных фракциях (John et al., 2005; Yamashita et al., 2006; Артемьева, 2010). При этом подход, включающий разделение общего образца на агрегатные фракции, обеспечивает полноценные данные о роли углерода в структурообразовании агрегатов разной размерности. В нашем исследовании поставлена цель изучить общие закономерности локализации углерода в черноземах и урбостратоземах по структурным фракциям.

### **Объекты и методы**

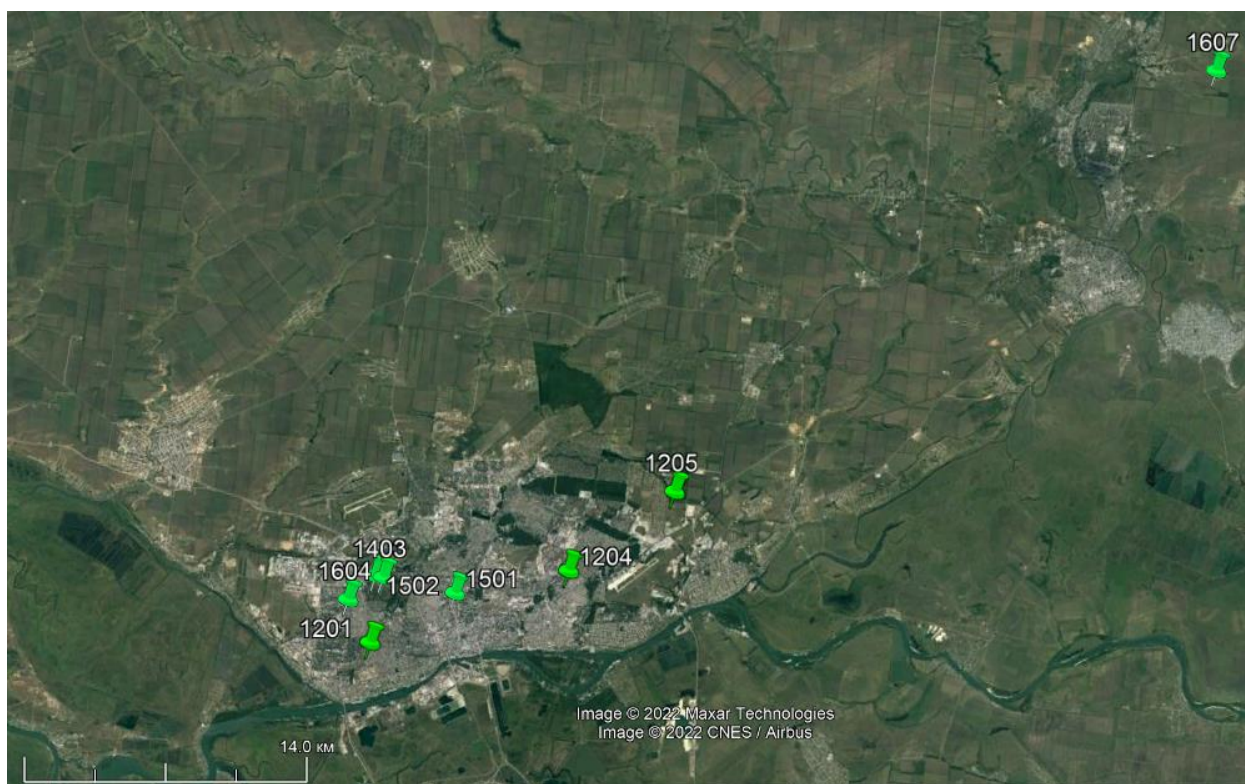
Исследование проводили на территории Ростовской агломерации, самой крупной на Юге России, центром которой является город Ростов-на-Дону. Климат данной территории умеренно-континентальный, зима малоснежная с оттепелями, лето засушливое. Почвообразующие породы представлены в основном лессовидными суглинками реже лессовидными и желто-бурыми глинами. Объектами изучения выступали почвы разной степени трансформации, среди которых выделяли две основные группы: черноземы миграционно-сегрегационные (Calcic Chernozems) и урбостратоземы на черноземах (Urbic Technosol) (Прокофьева и др., 2014; WRB, 2022; КиДПП, 2004). Большая часть территории Ростова-на-Дону, Аксая и прилегающих поселков располагается на водоразделах Приазовской равнины и пологих склонах надпойменных террас правого берега Дона. В выборки включены разрезы, приуроченные к водораздельным частям с мощным плащом (до 20 м) четвертичных лёссовидных суглинков, залегающих на морских неогеновых отложениях (Безуглова и др., 2018; Безуглова, Хырхырова, 2008). В группу черноземов отбирали почвы городских рекреационных зон под естественной травянистой растительностью. Трансформация этих почв минимальна, либо отсутствует.

Диагностическим признаком урбостратоземов является горизонт урбик, свойства которого в силу особенностей антропогенного генезиса могут

весьма варьировать даже в пределах одного разреза (Прокофьева и др., 2014; Безуглова и др., 2018; Безуглова, Хырхырова, 2008).

Для анализа в урбостратоземах отбирали горизонты UR, [AU], [BCA], а в черноземах AU, BCA.

Заложено 8 разрезов, статистический анализ включал данные по 42 горизонтам, с учетом деления на структурные фракции было проанализировано 210 образцов (рис. 1).



*Рис 1. — Космоснимок Ростовской агломерации с отметками разрезов*

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) (Вадюнина, Корчагина, 1986). По итогу сухого просеивания для последующего определения валового химического состава были отобраны структурные фракции размерностью  $<0,25$ ;  $2-1$ ;  $5-3$ ;  $7-5$ ;  $>10$  мм. Такой выбор обоснован структурным состоянием изучаемых черноземов и его трансформацией в результате урбопедогенеза. Так, в предыдущих

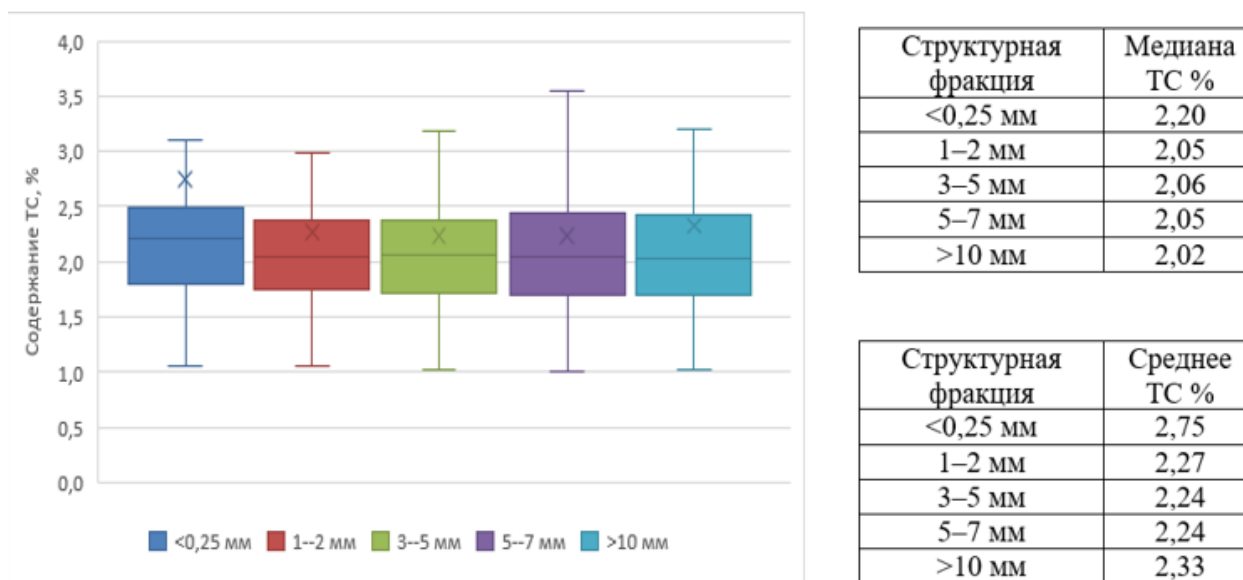
работах было показано, что в черноземах преобладают фракции 2–1, 5–3 и >10 мм, а в результате антропогенного воздействия максимумы смещаются в сторону фракций <0,25; 7–5 мм (Тагивердиев и др., 2021).

Определение общего (ТС), неорганического (ИС) и органического (ТОС) углерода проводили на анализаторе углерода TOC-L CPN Shimadzu в приставке для сухих образцов SSM-5000A. Анализ проводится в два этапа. Для анализа общего углерода образец сжигается при температуре 900 °С. Неорганический углерод учитывается при сжигании пробы при 200 °С с добавлением ортофосфорной кислоты. Органический углерод рассчитывают по формуле  $ТС-ИС=ТОС$  (Тагивердиев и др., 2020; Tagiverdiev et al., 2020).

Статистический анализ включал в себя расчет и оценку критерия Вилкоксона для связанных выборок, среди различных структурных фракций для выявления достоверных различий в содержании ТС, ИС, ТОС. Критерий Вилкоксона для связанных выборок позволяет сравнивать разные горизонты. Благодаря этому можно получить общие закономерности в распределении разных форм углерода, как по профилю, так и между черноземами и урбостратоземами. Использовали также некоторые показатели описательной статистики (Дмитриев, 2009). Расчеты производились в программах STATISTICA и Excel.

### **Результаты и обсуждение**

Исследовали общие закономерности локализации углерода между различными структурными фракциями в черноземах и урбостратоземах. Для этого в общей выборке всех изученных разрезов сравнивали содержание ТС, ИС и ТОС между структурными фракциями. На рисунке 2 показаны выборки содержания в различных структурных фракциях общего углерода.



*Рис. 2. — Содержание общего углерода в выборках различных структурных фракций*

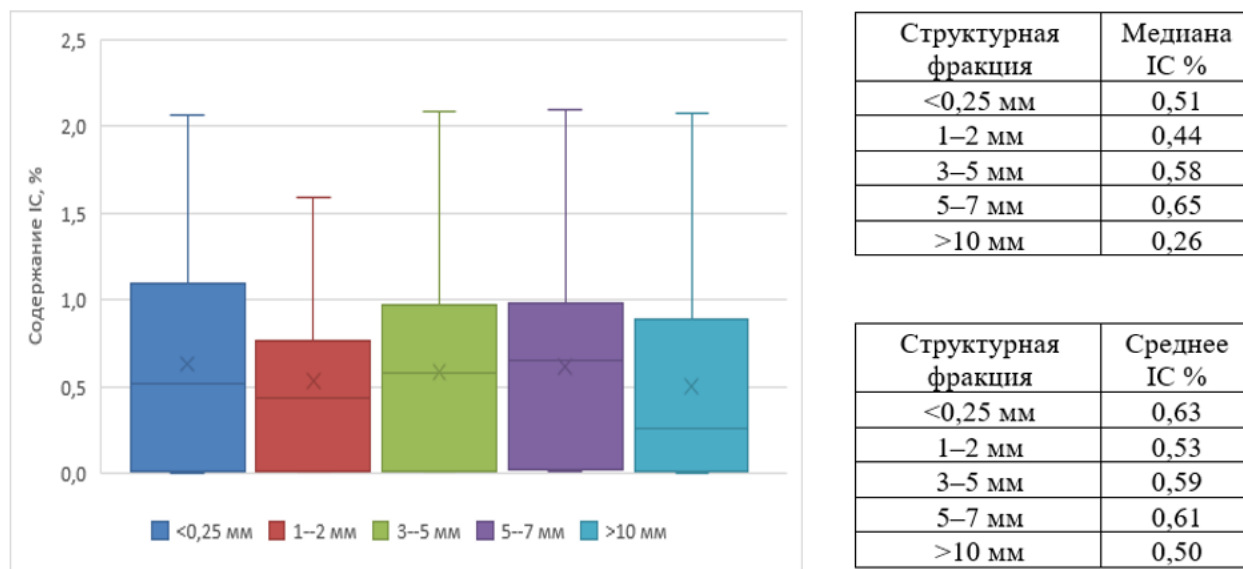
Установлено, что содержание ТС во фракции <0,25 мм выше, чем в остальных фракциях, независимо от типа почв и генетического горизонта (табл. 1, рис. 2). Зернистая фракция 1–2 мм показала более высокое содержание ТС по сравнению с фракциями 3–5 и 5–7 мм, а во фракции 3–5 мм общее количество углерода достоверно выше, чем во фракции 5–7 мм. Таким образом, можно говорить, что локализация углерода характеризуется обратной зависимостью от размера структурной фракции и в черноземах, и в урбостратоземах.

*Таблица 1 — Критерий Вилкоксона для связанных выборок между различными структурными фракциями по содержанию общего, неорганического и органического углерода n=42; p=0,05 (+ наличие достоверных различий; - отсутствие достоверных различий)*

Пара сравнения	ТС	ИС	ТОС
<0,25 мм / 1–2 мм	+	+	+
<0,25 мм / 3–5 мм	+	-	+
<0,25 мм / 5–7 мм	+	-	+
<0,25 мм / >10 мм	+	-	+
1–2 мм / 3–5 мм	+	+	+
1–2 мм / 5–7 мм	+	+	+
1–2 мм / >10 мм	-	-	-
3–5 мм / 5–7 мм	+	-	+

3–5 мм / >10 мм	-	-	-
5–7 мм / >10 мм	-	+	-

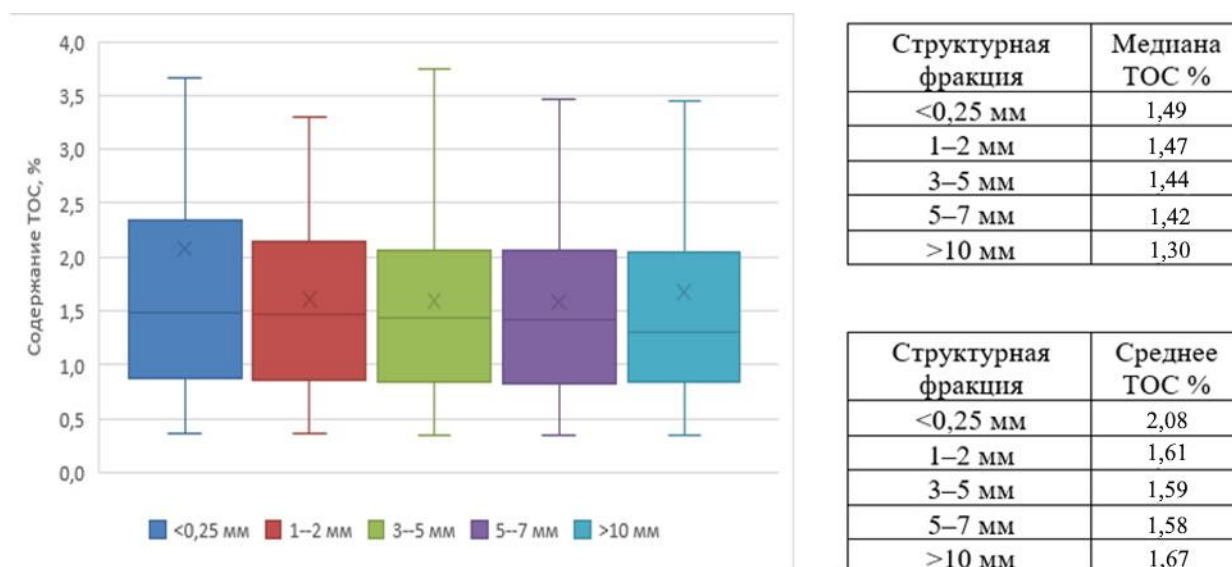
Закономерности локализации IC по структурным фракциям отличаются от таковых ТС. Минимумы приходятся на срединные фракции (табл. 1, рис. 3). Содержание во фракции <0,25 мм достоверно выше, чем в 1–2 мм, при этом во фракции 1–2 мм содержание ниже, чем в 3–5; 5–7 мм. В выборке >10 мм имеется высокая разница между медианой и средним значением. В целом выборка более ассиметрична по отношению к другим, что делает сравнение с ней более сложным. Таким образом, фракция >10 мм показала лишь одно достоверное различие в сравнении с фракцией 5–7 мм.



*Рис. 3. — Содержание неорганического углерода в выборках различных структурных фракций*

Локализация ТОС в структурных фракциях полностью повторяет закономерности ТС (табл. 1, рис. 4). Чем меньше размерность структурной фракции, тем выше содержание ТС: <0,25> 1–2> 3–5 ≥ 5–7 мм; <0,25 >>10 мм. Причем содержание органического углерода в пылеватых агрегатах (<0,25 мм) превышает таковое во всех остальных фракциях на статистически достоверную величину. Это обусловлено приуроченностью органического углерода к физической глине, относительное содержание которой несколько выше именно в микроагрегатах (Хасанова, 2016).





*Рис. 4. — Содержание органического углерода в выборках различных структурных фракций*

Отмеченные закономерности справедливы и для черноземов, и для урбостратоземов. Более того, те же зависимости прослеживаются во всех изученных генетических горизонтах черноземов (AU, BSA) и урбостратоземов (UR, [AU], [BSA]).

### **Заключение**

Исследование показало, что общими для всего профиля черноземов миграционно-сегрегационных и урбостратоземов на погребенных черноземах является достоверное увеличение содержания органического углерода с уменьшением диаметра почвенных агрегатов. Такая же закономерность характерна для общего углерода. Неорганический углерод локализуется во фракциях <0,25; 5–7; >10 мм. Минимальное содержание при этом отмечено в агрегатах размерностью 1–2 мм.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента для молодых ученых-кандидатов наук МК-3257.2022.1.4*

### **Список литературы**

1. Артемьева З. С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. – 240 с.



2. Безуглова О. С., Тагивердиев С. С., Горбов С. Н. Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации // Почвоведение, 2018, № 9. С. 1153–1159. doi: 10.1134/S0032180X18090022
3. Безуглова О. С., Хырхырова М. М. Почвы Ростовской области. Ростов-на-Дону. Изд-во Южного федерального ун-та, 2008.– 352 с.
4. Белова Ф. А. Геология СССР: Ростовская, Волгоградская, Астраханская области и Калмыцкая АССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. Т. 46. – 666 с.
5. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
6. Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М.: Изд-во МГУ, 1984. – 204с.
7. Глазовская М. А., Богданова М. Д. Почвенные горизонты как геохимические объекты // Национальный атлас почв Российской Федерации. Под ред. И. О. Алябина, Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская и др. М.: Астрель: АСТ, 2011. – С. 248–249
8. Данилова А. А., Барашкова Н. В., Аржакова А. П., Дьячковская В. Д. Взаимозависимость динамики органического вещества и биологических свойств мерзлотных пойменных почв (Центральная Якутия) // Наука и образование, 2012, № 3. – С. 38–44
9. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. Издательство: Книжный дом Либроком, 2009. – 327 с.
10. 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. doi: 10.7868/S0032180X14100104
11. Тагивердиев С. С., Безуглова О. С., Горбов С. Н., Скрипников П. Н., Козырев Д. А. Особенности агрегатного состава в связи с соотношением

- углерода органического вещества и карбонатов в почвах Ростовской агломерации // Почвоведение, 2021, № 9. – С. 1–7. doi: 10.31857/S0032180X21090124
12. Тагивердиев С. С., Скрипников П. Н., Безуглова О. С., Горбов С. Н., Козырев Д. А. Содержание и распределение органического и неорганического углерода в городских почвах Ростовской агломерации // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2020, № 4 (208). – С. 118–129. DOI 10.18522/1026-2237-2020-4-118-129
13. Хасанова Р. Ф. Агроэкологический анализ структурного состояния и оптимизация свойств черноземов Зауралья при фитомелиорации: дисс. д.б.н. Уфа, 2016. – 303 с.
14. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. – 341 с.
15. 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. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria
16. John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use // Geoderma, 2005, № 128(1–2), – P. 63–79.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.013>
17. 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, Vol. 21. – P. 00266. DOI 10.1016/j.geodrs.2020.e00266
18. Tisdall J. M., Oades J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils // Journal of Soil Science, 1982, 33(2). – P. 141–163. DOI 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x

19. Yamashita T., Flessa H., Bettina J., Helfrich M., Ludwig B. Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: Effect of land use // *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, vol. 38. – P. 3222–3234  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.04.013>

### References

1. Artemyeva Z. S. Organic matter and granulometric system of soil. M.: GEOS, 2010. - 240 p.
2. Bezuglova O. S., Tagiverdiev S. S., Gorbov S. N. Physical characteristics of urban soils of the Rostov agglomeration // *Eurasian Soil Science*, 2018, No. 9, pp. 1153–1159.
3. Bezuglova, O.S., Khyrkhyrova, M.M. Soils of the Rostov region. Southern Federal University Press, Rostov-on-Don, Russia, 2008. – 352 p.
4. Belova F. A. Geology of the USSR: Rostov, Volgograd, Astrakhan regions and Kalmykian ASSR. Geological Description. Moscow: Nedra, 1969. T. 46. - 666 p.
5. Vadyunina A. F., Korchaggina Z. A. Methods for studying the physical properties of soils. M.: Agropromizdat, 1986. 416 p.
6. Voronin A. D. Structural and functional hydrophysics of soils. Moscow: Moscow State University Press, 1984. – 204 p.
7. Glazovskaya M. A., Bogdanova M.D. Soil horizons as geochemical objects // *National Atlas of Soils of the Russian Federation*. Ed. by I. O. Alyabin, G.V. Dobrovolsky, I.S. Urusevskaya et al. Moscow: Astril: AST, 2011. - P. 248-249
8. Danilova A. A., Barashkova N. V., Arzhakova A. P., Diachkovskaya V. D. Interdependence of the dynamics of organic matter and biological properties of permafrost floodplain soils (Central Yakutia) // *Science and Education*, 2012, № 3. - P. 38-44
9. Dmitriev E. A. Mathematical statistics in soil science. Publisher: Book House Librocom, 2009. - 327 p.

10. Prokofieva T. V., Gerasimova M. I., Bezuglova O. S., Bakhmatova K. A., Golyeva A. A., Gorbov S. N., Zharikova E. A., Matinyan N. N., Nakvasina E. N., Sivtseva N. E. Introduction of soils and soil-like formations of urban areas into the classification of Russian soils // *Eurasian Soil Science*, 2014, No. 10, pp. 1155–1164.
11. Tagiverdiev S. S., Bezuglova O. S., Gorbov S. N., Skripnikov P. N., Kozyrev D. A. Features of the aggregate composition in relation to the ratio of organic matter carbon and carbonates in the soils of the Rostov agglomeration // *Eurasian Soil Sci.*, 2021, No. 55(9). pp. 1143–1149
12. Tagiverdiev S. S., Skripnikov P. N., Bezuglova O. S., Gorbov S. N., Kozyrev D. A. Content and distribution of organic and inorganic carbon in urban soils of the Rostov agglomeration // *News of higher educational institutions. North Caucasian region. Series: Natural Sciences*, 2020, No. 4(208). pp. 118–129
13. Khasanova R. F. Agroecological analysis of the structural state and optimization of the properties of chernozems in the Trans-Urals during phytomelioration: Ph. - 303 p.
14. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I., Classification and Diagnostics of Russian Soils. Smolensk: Oikumena, 2004. 341 p
15. 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. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria
16. John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use // *Geoderma*, 2005, № 128(1–2), – P. 63–79.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.013>
17. 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, Vol. 21. – P. 00266. DOI 10.1016/j.geodrs.2020.e00266
18. Tisdall J. M., Oades J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils // *Journal of Soil Science*, 1982, 33(2). – P. 141–163. DOI 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x
19. Yamashita T., Flessa H., Bettina J., Helfrich M., Ludwig B. Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: Effect of land use // *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, vol. 38. – P. 3222–3234  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.04.013>