

УДК 631.41

О распределении химических элементов минеральной части почвы в структурных фракциях черноземов и урбостратоземов Ростовской агломерации

Тагивердиев С.С.¹, Сальник Н.В.¹

¹*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*
stagiverdiev@sfedu.ru , salnik@sfedu.ru

DOI:10.18522/2308-9709-2022-41-4

Аннотация. Исследование было направлено на обнаружение элементов валового химического состава почв, дифференцированно распределяющихся по структурным фракциям, а также на выявление закономерностей их распределения. Объектами выступали черноземы и урбостратоземы Ростовской агломерации. Для получения структурных фракций использовали метод Саввинова (сухое просеивание). В полученных фракциях проводили специальную пробоподготовку, затем методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии анализировали валовой состав. В урбостратоземах, сформированных на погребенных черноземах, обнаружена дифференциация содержания некоторых элементов относительно структурных фракций. При этом в профильном отношении закономерности зачастую сохраняются вне зависимости от горизонта. Исключением являются горизонты урбик, облегченного гранулометрического состава (URл), поскольку почвообразовательными процессами задеты слабо, а структура таких почв еще не устойчива. Элементы, которые не отличаются дифференциацией, это либо составляющие основу почв, так называемые элементы почвенного скелета (Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg), либо микроэлементы, унаследованные в составе минералов от материнской породы, которые не привносятся в процессе антропогенного воздействия. В черноземах элементами склонными к дифференциации по структурным фракциям являются: As, Pb, Co. В урбостратоземах таких элементов существенно больше, в него входят: Pb, As, Cu, Zn, Ni, Cr, Co.

Ключевые слова: чернозем, урбостратозем, валовой химический состав, почвенные агрегаты, тяжелые металлы.

Distribution of gross chemical composition in structural fractions of chernozems and urbostratozems of Rostov agglomeration

Tagiverdiev Suleiman S.¹, Salnik Nadezhda V.¹

¹*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*
stagiverdiev@sfedu.ru , salnik@sfedu.ru

DOI:10.18522/2308-9709-2022-41-4

Abstract. The study was aimed at detecting the elements of the gross chemical composition of soils, differentiated by structural fractions, as well as at identifying the patterns of their distribution. The objects were chernozems and urbostratozems of the Rostov agglomeration. Savvinov's method (dry sieving) was used to obtain structural fractions. Special sample preparation was carried out in the obtained fractions, and then the bulk composition was analyzed by X-ray fluorescence spectrometry. In the urbostratozems formed on the buried chernozems, the differentiation of the content of some elements with respect to the structural fractions was found. At the same time, the profile patterns are often preserved regardless of the horizon. The exceptions are the horizons of urbic, light granulometric composition (URL), since soil-forming processes are weakly affected, and the structure of such soils is not yet stable. Elements that are not differentiated are either constituents of soil base, so called elements of soil skeleton (Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg), or microelements inherited as minerals from parent rock, which are not brought in during anthropogenic impact. In chernozems, elements prone to differentiation by structural fractions are: As, Pb, Co. In urbostratozems such elements are significantly more, it includes: Pb, As, Cu, Zn, Ni, Cr, Co.

Keywords: chernozem, urbostratozem, gross chemical composition, soil aggregates, heavy metals

Введение. Структура почвы, являясь интегральным показателем, отражает ее экологическое состояние. Так, она зависит от гранулометрического состава, качественных и количественных характеристик органического вещества, минералогического состава, присутствия структурообразующих и диспергирующих солей и ионов, количества и видового состава биоты (Безуглова и др., 2020; Тагивердиев и др., 2021а, б; Feng et al., 2022; Zhang et al., 2022). С другой стороны, структура почвы во многом определяет пористость, фильтрационную способность, водно-воздушный и температурный режимы, а последние исследования говорят и о высокой роли структуры в эмиссии углерода (Тагивердиев и др., 2021б; Luan et al., 2022; Peng et al., 2022; Kühn et al., 2022).

В городских условиях структурное состояние почв выступает важным фактором, улучшающим качество среды для роста и развития растений (Безуглова и др., 2018). Однако мало кто задумывается, что структура почв в условиях города важнейшей фактор, обеспечивающий протекторную функцию. Обусловлено это в первую очередь связью структуры с фильтрационной способностью почвы. В случае низкой фильтрационной

способности почв снижается мощность слоя, поглощающего и трансформирующего загрязняющие вещества (Тагивердиев, 2016; Pessoa, Libardi, 2022; Zhang et al., 2022). Однако не менее важным является и то, как отдельные структурные фракции почв адсорбируют поллютанты. Так, известно, что различные структурные фракции имеют различную активную площадь поверхности (Горбов, 2016), что сказывается на потенциальной адсорбционной емкости по отношению к загрязнителям. Все это делает исследования структуры, как показателя природно-ресурсного потенциала городской среды, очень актуальными. Особенно для стран с высоким уровнем урбанизации, к которым относится и Россия.

В нашем исследовании была поставлена цель соотнести концентрации различных элементов валового состава почв со структурной фракцией и определить элементы, которые в большей степени склонны к дифференциации в черноземах и урбостратоземах Ростовской агломерации.

Материалы и методы исследования. Объектами выступали почвы города Ростова-на-Дону, классификационно относящиеся к черноземам миграционно-сегрегационным (Calcic Chernozems) и урбостратоземам на черноземах миграционно-сегрегационных (Urbic Technosol) (КиДПР, 2008; Прокофьева и др., 2014; WRB, 2022). Профиль черноземов представлен последовательными горизонтами AU – BSA – C. Где AU – темногумусовый горизонт, BSA – аккумулятивно-карбонатный горизонт, C – почвообразующая порода. Особенностью урбостратоземов является наличие горизонта урбик UR и погребенных горизонтов сохранившегося естественного профиля чернозема [AU], [BSA], [C].

Для получения различных структурных фракций, воздушно сухую почву просеивали на ситах с разным диаметром отверстий – сухое просеивание по методу Саввинова (Вадюнина, Корчагина, 1986). После получения отдельных структурных фракций (>10; 7–5; 5–3; 2–1; <0,25 мм) проводили специальную пробоподготовку (Аринушкина, 1970). Были

выбраны данные фракции поскольку в черноземах преобладают фракции 2–1, 5–3 и >10 мм, а в результате урбопедогенеза максимальные значения приходится на фракции <0,25; 7–5 мм (Тагивердиев и др. 2021а).

Определение валового химического состава почвы в общем образце и отдельных структурных фракциях проводили методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии на приборе МАКС-GV (ГОСТ 33850-2016). Определяли: TiO_2 ; MnO ; Fe_2O_3 ; SiO_2 ; P_2O_5 ; K_2O ; MgO ; Al_2O_3 ; CaO ; V ; Cr ; Co ; Ni ; Cu ; Zn ; As ; Sr ; Pb .

Общий (ТС), неорганический (ИС) 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 количества углерода его неорганической составляющей (Тагивердиев и др., 2020).

Гранулометрический состав определяли в общем образце методом пипетки по Качинскому с использованием в качестве диспергирующего вещества 4 % раствор пиррофосфата натрия (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Результаты исследования и их обсуждение. Чтобы понять какие из проанализированных элементов склонны к дифференцированному распределению по структурным фракциям были рассчитаны коэффициенты вариации для элементов по отдельным горизонтам в черноземах миграционно-сегрегационных и урбостратоземах (рис. 1).

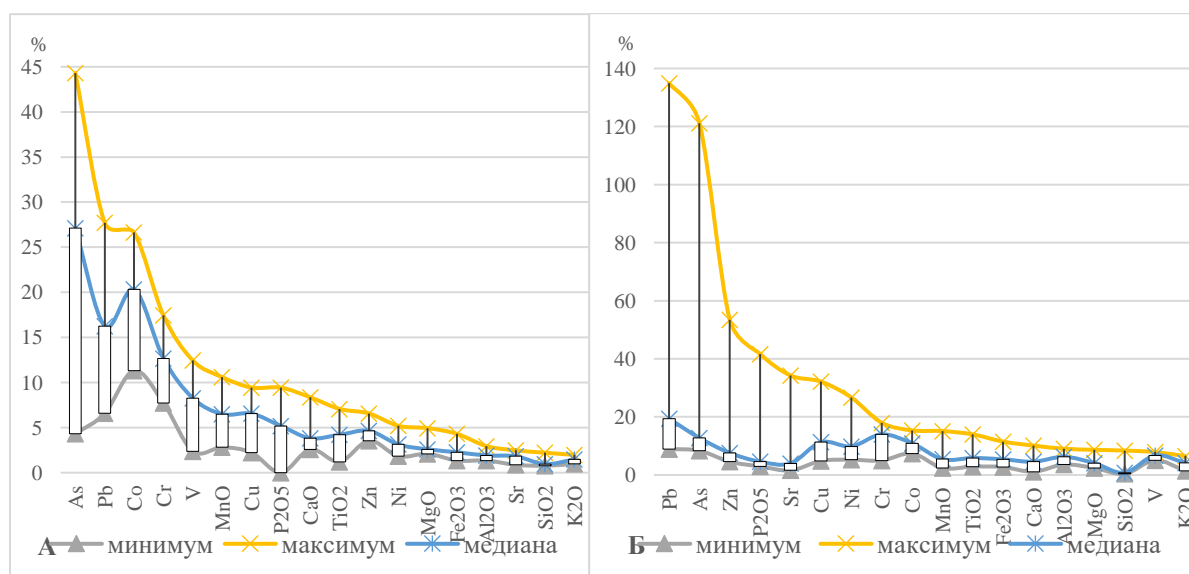


Рис. 1 — Коэффициенты вариации содержания различных элементов в структурных фракциях выборки по горизонтам в черноземах (А) и урбостратоземах (Б).

Из рисунка 1 видно, как урбопедеогенез увеличивает вариацию содержания элементов между структурными фракциями. При этом можно отметить, что элементы, составляющие скелет почвы, распределены по фракциям довольно равномерно. К таким относятся K_2O ; SiO_2 ; MgO ; Al_2O_3 ; MnO ; CaO ; Fe_2O_3 ; TiO_2 . (Ковда, Розанов, 1988). В то же время микроэлементы и элементы загрязнители имеют более высокую вариацию по структурным фракциям. В группе урбостратоземов можно выделить исключения – V и P_2O_5 . Так в результате урбопедеогенеза происходит зафосфачивание отдельных горизонтов (Попова, Никитина 2014), содержание фосфора в изученных урбостратоземах колеблется в пределах 0,3–0,6 %, что значительно выше, чем в нативных почвах. При этом медианы вариации по фосфору и в черноземах, и в урбостратоземах находятся на уровне 5 %, а максимумы – 9,5 % и 42 % соответственно. Таким образом можно предположить, что перераспределение по структурным фракциям зависит от содержания элемента. С повышением концентрации элемент депонируется неравномерно по структурным фракциям. Ванадий, напротив, не проявляет высокой вариации, поскольку не является приоритетным

загрязнителем почв изучаемой территории и фактически отражает фоновые значения (Горбов и др. 2015). Максимумы и медианы коэффициентов вариации данного элемента находятся на сопоставимых уровнях в черноземах и урбостратоземах.

Если рассмотреть элементы, значения вариации которых превышают 20 % (сильная степень вариации), то в естественных черноземах выделяются три элемента: As, Pb, Co. Экстремумы коэффициентов вариации для данных элементов составляют 4,3–44,3 %, 6,6–27,7 %, 11,3–26,6 % соответственно. Нужно отметить, что Ростовская агломерация входит в зону геохимической аномалии с высоким содержанием мышьяка, по данным Безугловой, Околеловой (2012) значения находятся в диапазоне 5,6–10 мг/кг, местами достигая 22,5 мг/кг.

В урбостратоземах элементов, выходящих за показатель вариации 20 %, гораздо больше: Pb, As, Zn, P₂O₅, Sr, Cu, Ni. Такое распределение говорит о локальном увеличении содержания этих элементов в результате урбопедогенеза. Наиболее высокие показатели коэффициента вариации можно наблюдать для таких элементов как Pb и As, экстремумы по этим элементам составляют: 9–135 % и 8–121 % соответственно. Предварительные исследования показали, что валовое содержание свинца и мышьяка по структурным фракциям распределяется одинаково. Максимумы наблюдаются во фракциях >10, <0,25 мм. Высокую сорбцию свинца, во фракции >10 мм, можно связать с тем, что свинец часто мигрирует в виде достаточно крупных частиц (Понизовский, Мироненко 2001; Duzgoren-Ayudin et al., 2006; Manta et al., 2002; Kelly et al., 1996; Li et al., 2001; Chen et al., 2005), которые почвой могут задерживаться только в макропорах, присущих именно крупным агрегатам.

Цинк, являясь основным загрязнителем изучаемой территории (Горбов, Безуглова 2020), проявляет четкую закономерность депонирования во фракции <0,25 мм, минимумы содержания всегда приходятся на фракцию

>10 мм. Интересно, что такая же закономерность характерна и для чернозема.

Содержание меди находится на сопоставимых уровнях. Критерий Мана-Уитни не выявил различий содержания элемента по структурным фракциям между черноземами и урбостратоземами (рис. 2). Но при изучении различий между структурными фракциями в урбостратоземах выяснилось, что для Cu минимальные значения приурочены к фракции <0,25 мм, а максимумы для срединных фракций 7–5; 5–3; 2–1 мм.

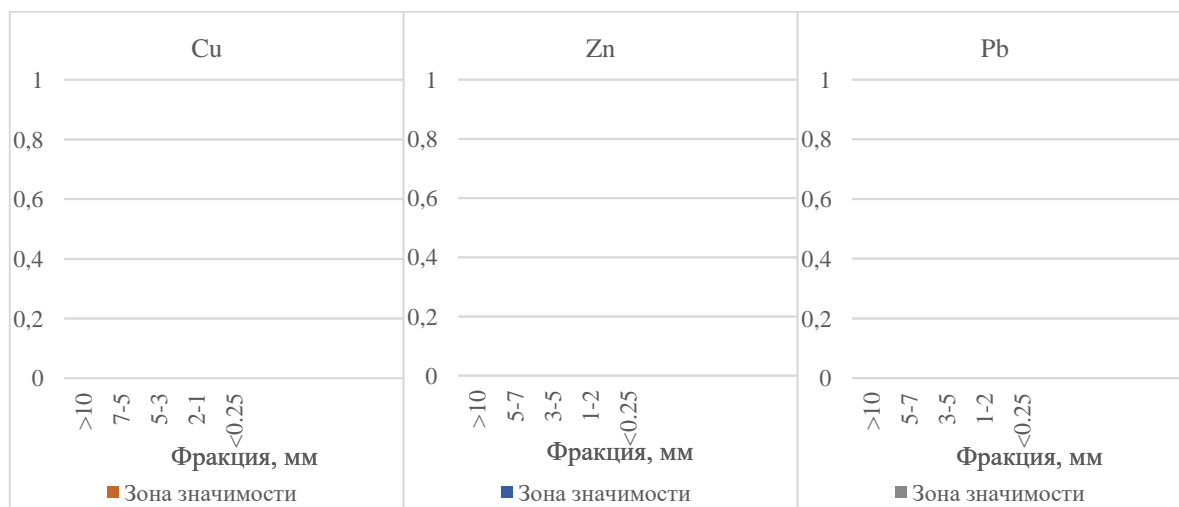


Рис. 2 — Критерий Мана-Уитни для содержания меди, цинка, свинца сравнение между чернозёмами и урбостратоземами в выборках разных структурных фракций $p=0,05$

Если рассмотреть профильные закономерности депонирования элементов в агрегатах различных фракций, то можно отметить сохранение отмеченных тенденций на протяжении всего профиля. Однако в урбостратоземах, среди горизонтов урбик UR был один, в котором не соблюдаются закономерности распределения элементов: Pb, As, Cu, Zn, Ni, Cr, Co. Здесь все указанные элементы имеют высокое содержание во фракции <0,25 мм, с резким снижением во всех остальных структурных фракциях. Считаем, что подобная картина связана с особенностями гранулометрического состава и содержанием органического углерода. Горизонт имеет повышенное содержание физического песка – 72 %, если

говорить об отдельных фракциях здесь довольно мало средней пыли – 3 % и много мелкого песка – 46 %. При этом в горизонте диагностируется очень высокое содержание органического углерода – 7,13 %. В целом структурное состояние горизонта по итогу сухого просеивания характеризуется как удовлетворительное, с завышенным содержанием фракции >10 мм, а водопрочность – как неудовлетворительная. Состоит данный горизонт, вероятно, из лессовидного суглинка, смешанного с песком и пеплом. Таким образом горизонт можно отнести к легким урбикам (UR л) (Безуглова и др. 2018) которые не связаны генетически с нативными почвами, а в большей степени сформированы из инородного материала.

Выводы. В урбостратоземах на черноземах обнаружена дифференциация содержания некоторых элементов относительно структурных фракций. При этом в профильном отношении закономерности зачастую сохраняются вне зависимости от горизонта. Исключением являются легкие горизонты урбик URл, поскольку почвообразовательными процессами задеты слабо, а структура таких почв еще не устойчива.

Составляющие основу почв скелетные элементы, а также те микроэлементы, которые унаследованы от материнской породы в составе минералов их образующих, и не привносятся в процессе антропогенного воздействия, не отличаются дифференциацией по структурным фракциям.

В черноземах элементами склонными к дифференциации по структурным фракциям являются: As, Pb, Co. В урбостратоземах этот ряд элементов существенно больше, в него входят: Pb, As, Cu, Zn, Ni, Cr, Co.

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

Список литературы

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Москва. Изд-во МУ, 1970. 488 с.

2. Безуглова О. С., Лыхман В. А., Полиенко Е. А., Горовцов А. В. Гуминовые препараты и структурное состояние черноземных и каштановых почв Ростовской области. Ростов-на-Дону: АзовПринт, 2020. 188 с.
3. Безуглова О. С., Околелова А. А. О нормировании содержания мышьяка в почвах // Живые и биокосные системы. – 2012. – №1. С.1–11.
4. Безуглова О. С., Тагивердиев С. С., Горбов С. Н. Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации // Почвоведение, 2018, № 9. С. 1153–1159.
5. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
6. Горбов С. Н., Безуглова О. С. Тяжелые металлы и радионуклиды в почвах Ростовской агломерации. Ростов-на-Дону – Таганрог: Южный федеральный университет, 2020. 124 с.
7. 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.
8. Горбов С. Н., Безуглова О. С., Алексикова А. С., Тагивердиев С. С., Дубинина М. Н., Шерстнев А. К. Содержание и распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах Ростова-на-Дону // Современные проблемы науки и образования, 2015, № 4. С. 543–543.
9. ГОСТ 33850-2016. Определение химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии.
10. Ковда В. А., Розанов Б. Г. Почвоведение. Часть 1 Почва и почвообразование – М.: Высш. шк., 1988. 400 с.
11. Понизовский А. А., Мироненко Е. В. Механизмы поглощения свинца (Pb) почвами // Почвоведение, 2001, № 4. С. 418–429.

12. Попова Л. Ф., Никитина М. В. Кумуляция, миграция и трансформация фосфора в почвах города Архангельска // Фундаментальные исследования, 2014, № 9-1. С. 70–74.
13. 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.
14. Тагивердиев С. С., Безуглова О. С., Горбов С. Н., Минаева Е. Н., Козырев Д. А., Скрипников П. Н., Сальник Н. В., Корбань В. А., Дымченко Н. П. О трансформации структурного состояния почв под влиянием урбопедогенеза на примере Ростовской агломерации // Наука Юга России, 2021, № 17(4). С. 45–52.
15. 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, № 55(9). С. 1143–1149.
16. Тагивердиев С. С., Горбов С. Н., Безуглова О. С., Котик М. В. Деградация физических свойств почв черноземной зоны в условиях города // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016, № 18(2). С. 226–229.
17. 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.
18. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.

19. Chen T. B., Zheng Y., Lei M., Huang Z., Wu H., Chen H., Fan K., Yu K., Wu X., Tian Q. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China // *Chemosphere*, 2005, № 60. 542e551. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.12.072
20. Duzgoren-Aydin N. S., Wong C. S. C., Aydin A., Song Z., You M., Li X. D. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China // *Environmental Geochemistry and Health*, 2006, № 28. PP. 375–391. doi: 10.1007/s10653-005-9036-7
21. Feng X., Xia X., Chen S., Lin Q., Zhang X., Cheng K., Liu X., Bian R., Zheng J., Li L., Joseph S., Drosos M., Pan G. Amendment of crop residue in different forms shifted micro-pore system structure and potential functionality of macroaggregates while changed their mass proportion and carbon storage of paddy topsoil // *Geoderma*, 2022, 409. 115643.
22. 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
23. Kelly J., Thornton I., Simpson P. R., Urban Geochemistry: a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain // *Applied Geochemistry*, 1996, № 11. 363e370. doi: 10.1016/0883-2927(95)00084-4
24. Kühn V. D. O., Lopes B. D. C. F. L., Caicedo B., Cordão-Neto M. P. Mechanical behaviour of bimodal kaolin clay with aggregates // *Engineering Geology*, 2022, 297. 106490.
25. Li X. D., Poon C. S., Liu P. S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong // *Applied Geochemistry*, 2001, № 16. 1361e1368. doi: 10.1016/S0883-2927(01)00045-2
26. Luan H., Zhang X., Liu Y., Huang S., Chen J., Guo T., Liu Y., Guo S., Qi G. The microbial-driven C dynamics within soil aggregates in walnut orchards

- of different ages based on microbial biomarkers analysis // *Catena*, 2022, 211. 105999.
27. Manta D. S., Angelone M., Bellanca A., Neri R., Sprovieri M. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy // *Science of the Total Environment*, 2002, № 300. 229e243. doi: 10.1016/s0048-9697(02)00273-5
28. Peng J., Wu X., Ni S., Wang J., Song Y., Cai C. Investigating intra-aggregate microstructure characteristics and influencing factors of six soil types along a climatic gradient // *Catena*, 2022, 210. 105867.
29. Pessoa T. N., Libardi P. L. Physical-hydric properties of Oxisols as influenced by soil structure and clay mineralogy // *Catena*, 2022, 211. 106009.
30. Zhang S., He F., Fang X., Zhao X., Liu Y., Yu G., Zhou Y., Feng Y., Li J. Enhancing soil aggregation and acetamiprid adsorption by ecofriendly polysaccharides hydrogel based on Ca²⁺- amphiphilic sodium alginate // *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2022, 113. PP. 55–63.

References

1. Arinushkina E. V. Guidelines for the chemical analysis of soils. Moscow, 1970. 488 p.
2. Bezuglova O. S., Lykhman V. A., Polienko E. A., Gorovtsov A. V. Humic preparations and the structural state of chernozem and chestnut soils of the Rostov region. Rostov-on-Don: AzovPrint, 2020. 188 p.
3. Bezuglova O. S., Okolelova A. A. On the regulation of arsenic content in soils // *Living and biokosnye sistemy*. - 2012. - No. 1. P.1–11.
4. 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.
5. Vadyunina A. F., Korchaggina Z. A. Methods for studying the physical properties of soils. M.: Agropromizdat, 1986. 416 p.

6. Gorbov S. N., Bezuglova O. S. Heavy metals and radionuclides in soils of the Rostov agglomeration. Rostov-on-Don - Taganrog: Southern Federal University, 2020. 124 p.
7. Gorbov S. N., Bezuglova O. S., Abrosimov K. N., Skvortsova E. B., Tagiverdiev S. S., Morozov I. V. Physical properties of soils of the Rostov agglomeration // Eurasian Soil Science, 2016, No. 8 pp. 964–974.
8. Gorbov S. N., Bezuglova O. S., Aleksikova A. S., Tagiverdiev S. S., Dubinina M. N., Sherstnev A. K. Content and distribution of heavy metals and arsenic in the soils of Rostov-on-Don. Don // Modern problems of science and education, 2015, No. 4. P. 543–543.
9. GOST 33850-2016. Determination of the chemical composition by X-ray fluorescence spectrometry.
10. Kovda V. A. and. Rozanov B. G, Soil Science. Part 1 Soil and soil formation - M.: Publishing House Higher School, 1988. 400 p.
11. Ponizovsky A. A. and Mironenko E. V. Mechanisms of lead (II) uptake by soils // Eurasian Soil Science, 2001, No. 4, pp. 418–429.
12. Popova L. F., Nikitina M. V. Cumulation, migration and transformation of phosphorus in the soils of the city of Arkhangelsk // Fundamental Research, 2014, No. 9-1. pp. 70–74.
13. 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.
14. Tagiverdiev S. S., Bezuglova O. S., Gorbov S. N., Minaeva E. N., Kozyrev D. A., Skripnikov P. N., Salnik N. V., Korban V. A., Dymchenko N. P. On the transformation of the structural state of soils under the influence of urban pedogenesis on the example of the Rostov agglomeration // Science of the South of Russia, 2021, no. 17(4). pp. 45–52.

15. Tagiverdiev S. S., Bezuglova O. S., Gorbov S. N., Skripnikov P. N., and 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.
16. Tagiverdiev S. S., Gorbov S. N., Bezuglova O. S., Kotik M. V. Degradation of the physical properties of soils of the chernozem zone in urban conditions // *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2016, No. 18(2). pp. 226–229.
17. 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.
18. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., and Gerasimova M. I., *Classification and Diagnostics of Russian Soils*. Smolensk: Oikumena, 2004. 341 p.
19. Chen T. B., Zheng Y., Lei M., Huang Z., Wu H., Chen H., Fan K., Yu K., Wu X., Tian Q. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China // *Chemosphere*, 2005, № 60. 542e551. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.12.072
20. Duzgoren-Aydin N. S., Wong C. S. C., Aydin A., Song Z., You M., Li X. D. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China // *Environmental Geochemistry and Health*, 2006, № 28. PP. 375–391. doi: 10.1007/s10653-005-9036-7
21. Feng X., Xia X., Chen S., Lin Q., Zhang X., Cheng K., Liu X., Bian R., Zheng J., Li L., Joseph S., Drosos M., Pan G. Amendment of crop residue in different forms shifted micro-pore system structure and potential functionality of macroaggregates while changed their mass proportion and carbon storage of paddy topsoil // *Geoderma*, 2022, 409. 115643.

22. I.U.S.S. 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
23. Kelly J., Thornton I., Simpson P. R., Urban Geochemistry: a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain // *Applied Geochemistry*, 1996, № 11. 363e370. doi: 10.1016/0883-2927(95)00084-4
24. Kühn V. D. O., Lopes B. D. C. F. L., Caicedo B., Cordão-Neto M. P. Mechanical behaviour of bimodal kaolin clay with aggregates // *Engineering Geology*, 2022, 297. 106490.
25. Li X. D., Poon C. S., Liu P. S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong // *Applied Geochemistry*, 2001, № 16. 1361e1368. doi: 10.1016/S0883-2927(01)00045-2
26. Luan H., Zhang X., Liu Y., Huang S., Chen J., Guo T., Liu Y., Guo S., Qi G. The microbial-driven C dynamics within soil aggregates in walnut orchards of different ages based on microbial biomarkers analysis // *Catena*, 2022, 211. 105999.
27. Manta D. S., Angelone M., Bellanca A., Neri R., Sprovieri M. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy // *Science of the Total Environment*, 2002, № 300. 229e243. doi: 10.1016/s0048-9697(02)00273-5
28. Peng J., Wu X., Ni S., Wang J., Song Y., Cai C. Investigating intra-aggregate microstructure characteristics and influencing factors of six soil types along a climatic gradient // *Catena*, 2022, 210. 105867.
29. Pessoa T. N., Libardi P. L. Physical-hydric properties of Oxisols as influenced by soil structure and clay mineralogy // *Catena*, 2022, 211. 106009.
30. Zhang S., He F., Fang X., Zhao X., Liu Y., Yu G., Zhou Y., Feng Y., Li J. Enhancing soil aggregation and acetamiprid adsorption by ecofriendly

polysaccharides hydrogel based on Ca²⁺- amphiphilic sodium alginate //
Journal of Environmental Sciences (China), 2022, 113. PP. 55–63.