

УДК 631.4

Взаимосвязь свинца, цинка и меди с органическим веществом и карбонатами в городских почвах (на примере Ростова-на-Дону)

Плахов Г.А., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н.

Южный федеральный университет

Аннотация

Статья посвящена исследованию содержания тяжелых металлов в почвах Ростова-на-Дону. Пробы почв были отобраны из полнопрофильных разрезов, расположенных в разных районах города и пригородов Ростова-на-Дону. Группа антропогенно-измененных почв включала урбостратоземы и реплантоземы Urbic Technosol, а также урбистратифицированные черноземы Calcic Chernozems (Technic). Естественные почвы рекреационных территорий представлены черноземами миграционно-сегрегационными Calcic Chernozems (Pachic).

Исследование проводилось с использованием атомно-абсорбционной спектрометрии и рентгенофлуоресцентного анализа для определения содержания металлов, содержание углерода определяли на ТОС-анализаторе. Для выявления взаимосвязи использовали графический анализ.

Основной целью исследования было выявление взаимосвязи между содержанием металлов и углерода в почвенном профиле.

Показано, что наличие карбонатного барьера в глубоких почвенных горизонтах (BC и C) в черноземах и в поверхностных слоях урбостратоземов при антропогенном загрязнении оказывало влияние на подвижность металлов. Накопление органического углерода в гумусово-аккумулятивных горизонтах способствует росту обменной формы цинка, свинца и меди в общем количестве этих металлов.

Ключевые слова: ГОРОДСКИЕ ПОЧВЫ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, УРБОСТРАТОЗЕМЫ, РЕПЛАНТОЗЕМЫ, ЧЕРНОЗЕМЫ, АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, УГЛЕРОД

исследование этих взаимосвязей может помочь в понимании механизмов взаимодействия между металлами и почвенными компонентами.

Объект исследования

Объектами выступали городские почвы разной степени трансформации, среди которых были выделены урбостратоземы и реплантоземы Urbic Technosol, урбистратифицированные черноземы Calcic Chernozems (Technic), черноземы миграционно-сегрегационные Calcic Chernozems [16-18]. Отбор проб производился из 27 полнопрофильных почвенных разрезов, заложенных в селитебных и рекреационных зонах различных районов Ростовской агломерации (рис. 1).

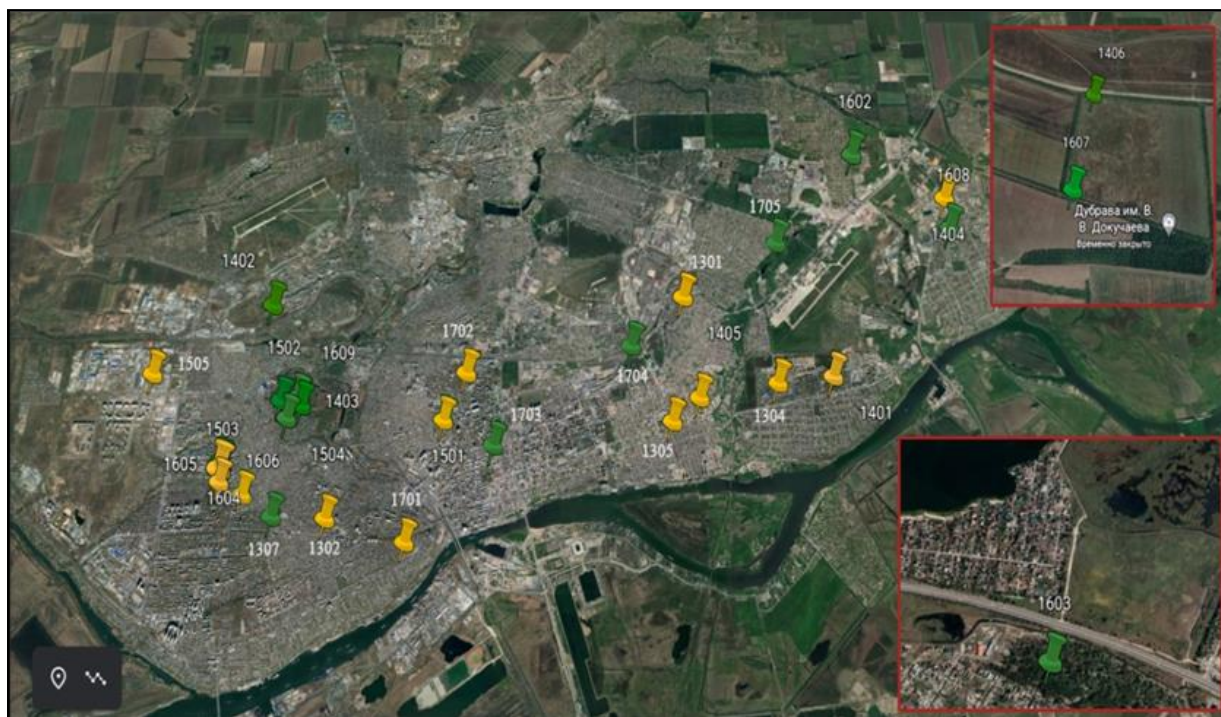


Рис. 1. Картограмма заложения почвенных разрезов

Методы исследования

Почвенные образцы отбирали в срединной части генетических горизонтов, выделявшихся в соответствии с классификацией почв 2004 года: урбогоризонты (UR, RAT), гумусово-аккумулятивные горизонты (AU), срединные, аккумулятивно-карбонатные (BCA) и почвообразующая порода (C).

Валовое содержание ТМ определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа с

использованием спектросканера МАКС-GV. Определяли также подвижные формы элементов в воздушно-сухой почве, перетертой и просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм (общая подготовка). Масса навески 3 г. В качестве экстрагента был использован ацетатно-аммонийный буфер с $pH=4,8$. Соотношение почва: раствор составляет 1:10. Определение подвижных форм тяжелых металлов проводили на атомно-адсорбционном спектрометре МГА-915.

Содержание органического углерода определяли путем высокотемпературного каталитического сжигания на анализаторе углерода TOC-L CPN Shimadzu в приставке для сухих образцов SSM-5000A. Данный метод основан на высокотемпературном каталитическом сгорании пробы и последующем детектировании выделившегося углекислого газа. Анализ пробы происходит в два этапа: общий углерод определяется путем сжигания пробы при температуре $900^{\circ}C$, неорганический – при $200^{\circ}C$ с добавлением ортофосфорной кислоты. Органический углерод определяется путем вычета из общего количества неорганического углерода. Преимущество данного метода заключается в том, что «побочным» результатом анализа является определение количества неорганического углерода в сухом образце [19].

Обработку результатов анализа провели с использованием графического анализа – график линий уровня взаимосвязей химических компонентов почвы, интерполированных методом наименьших квадратов в программе STATISTICA. Такой анализ дает возможность отследить изменение связей валового содержания и содержания подвижного (обменная форма) металла с органическим и неорганическим углеродом в естественных и антропогенно-измененных почвах.

Результаты и обсуждения

Графический анализ основан на выявлении связей между рассматриваемыми компонентами, при этом на оси абсцисс отложено валовое количество металла, на оси ординат – содержание углерода (органического или минерального). Содержание обменной формы металла показано цветом в соответствии с цветовой шкалой, а также густотой линий в поле рассматриваемых значений. В черноземах в диапазоне валового содержания свинца до 50 мг/кг отсутствуют закономерности между количеством подвижного свинца и содержанием неорганического углерода (рис. 2А).

При антропогенном загрязнении (рис. 2Б) наблюдается связывающая роль карбонатов в отношении свинца и это проявляется в виде закономерности: чем выше валовое содержание свинца, тем больше в нем доля обменных соединений.

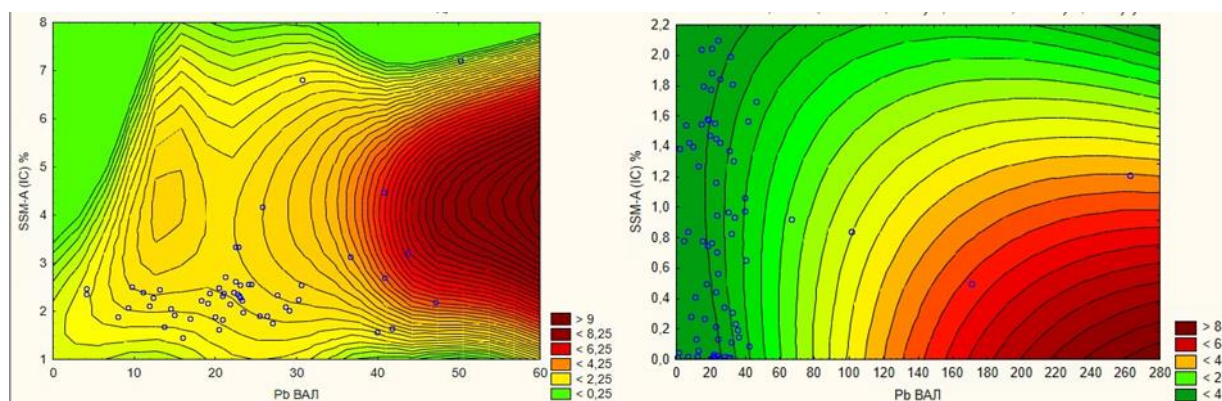


Рис. 2. График взаимного распределения валового содержания и обменных форм свинца в зависимости от содержания неорганического углерода в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах

Причем эта закономерность справедлива как для черноземов, так и для урбостратоземов. В то же время антропогенез влияет на диапазон значений, в которых проявляется вышеуказанная связь. В естественных почвах максимум валового количества и обменных соединений свинца приходится на диапазон в содержании неорганического углерода от 2 до 7%, а такое количество может наблюдаться только в нижней части профиля, в горизонтах ВС и С, что еще раз служит доказательством накопления свинца на карбонатном барьере. А в урбостратоземах наивысшие значения и валового содержания (140–280 мг/кг) и обменных форм (64–80 мг/кг) лежат в пределах содержания углерода карбонатов от 0 до 0,9%, т.е. это поверхностные слои, и убедительное свидетельство антропогенного происхождения рассматриваемого ТМ.

На рис. 3 показаны закономерности распределения обменных форм свинца в зависимости от его валового содержания и количества органического углерода. Так же, как и с неорганическим углеродом, при валовом содержании свинца ниже ПДК, доля обменных форм невысокая. При антропогенном загрязнении увеличивается и подвижность свинца, причем это увеличение происходит синхронно с ростом содержания органического углерода. Этот факт хорошо согласуется с данными С.С. Манджиевой [1], показавшей, что гумус сорбирует соединения свинца.

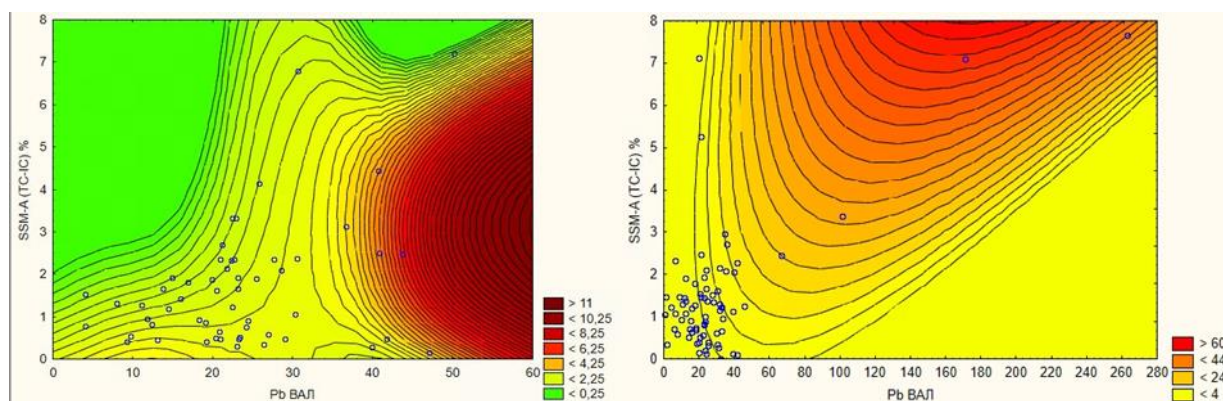


Рис. 3. График взаимного распределения валового содержания и подвижных форм свинца в зависимости от содержания углерода гумуса в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах

Аналогичные зависимости были изучены и для цинка. Четко прослеживается закономерность: в черноземах миграционно-сегрегационных содержание обменного цинка увеличивается с ростом содержания органического углерода (рис. 4А). В антропогенно-измененных почвах такая закономерность отсутствует (рис. 4Б).

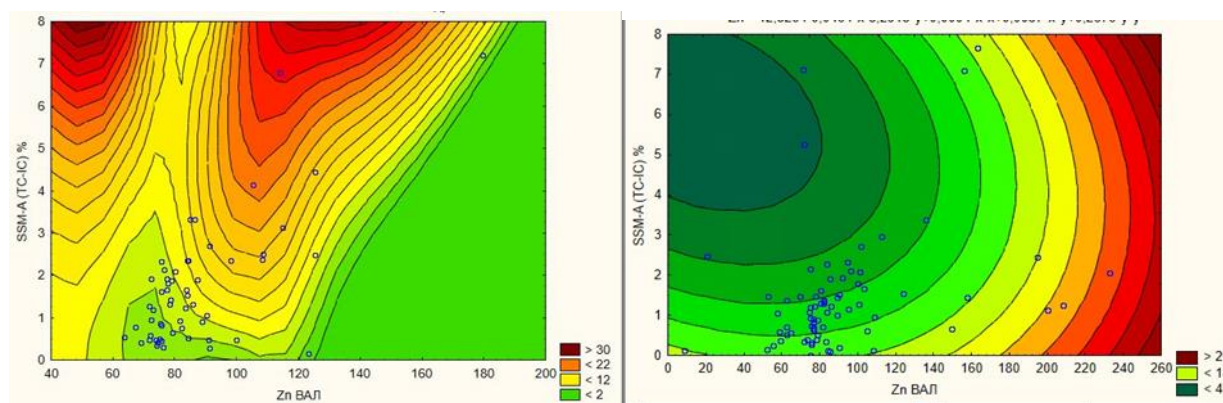


Рис. 4. График взаимного распределения валового содержания и обменных форм цинка в зависимости от содержания углерода гумуса в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах

В черноземах неорганический углерод, представленный преимущественно карбонатами, при условии его высокого содержания (рис. 5а), влияет на накопление подвижного цинка, причем при сравнительно невысоком валовом содержании (40–60 мг/кг). Здесь так же, как и в отношении свинца, проявляется действие карбонатного барьера, так как в черноземах миграционно-сегрегационных такие высокие значения неорганического углерода встречаются только в породе. В урбостратоземах подвижность

цинка также имеет 2 максимума (рис. 5Б).

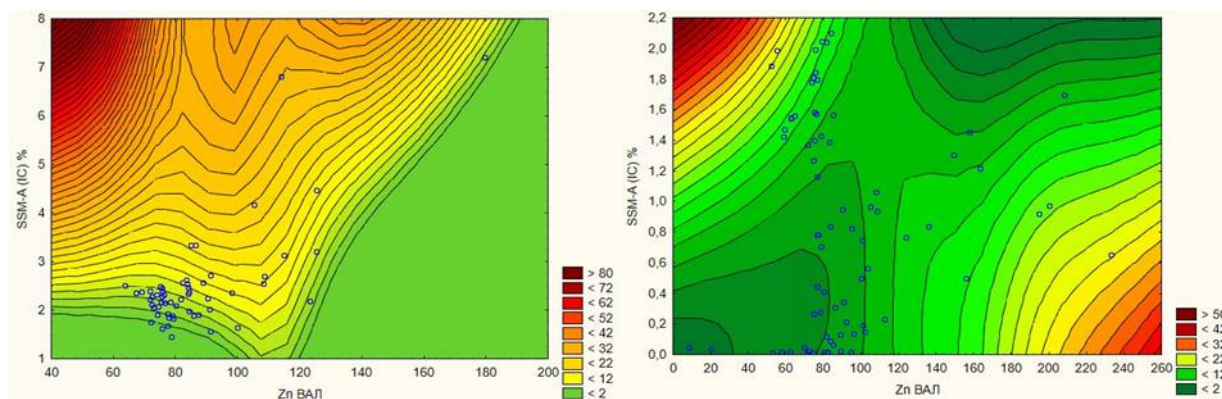


Рис. 5. График взаимного распределения валового содержания и обменных форм цинка в зависимости от содержания неорганического углерода в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах

Наиболее высокую подвижность этот металл проявляет при низком валовом содержании цинка и достаточно высоком содержании неорганического углерода – 1,6–2,2%, что соответствует содержанию карбонатов 13–18%. Такие высокие значения могут наблюдаться в экраноземах при наличии подушки из дробленой тырсы (известняка-ракушечника), широко применяемого в Ростове-на-Дону при строительстве дорог. Второй максимум приурочен к области с повышенным валовым содержанием цинка – в пределах 240–260 мг/кг. Учитывая, что содержание неорганического углерода при этом минимальное – от нуля до 0,3%, можно уверенно говорить, что это открытые поверхностные горизонты урбостратоземов и урбостратифицированных черноземов. Наименьший уровень подвижности цинка отмечается в незагрязненных урбостратоземах при значениях неорганического углерода, стремящихся к нулю.

Закономерности взаимного распределения валового содержания меди и ее обменных форм со свойствами почв представлены на рис. 6–7.

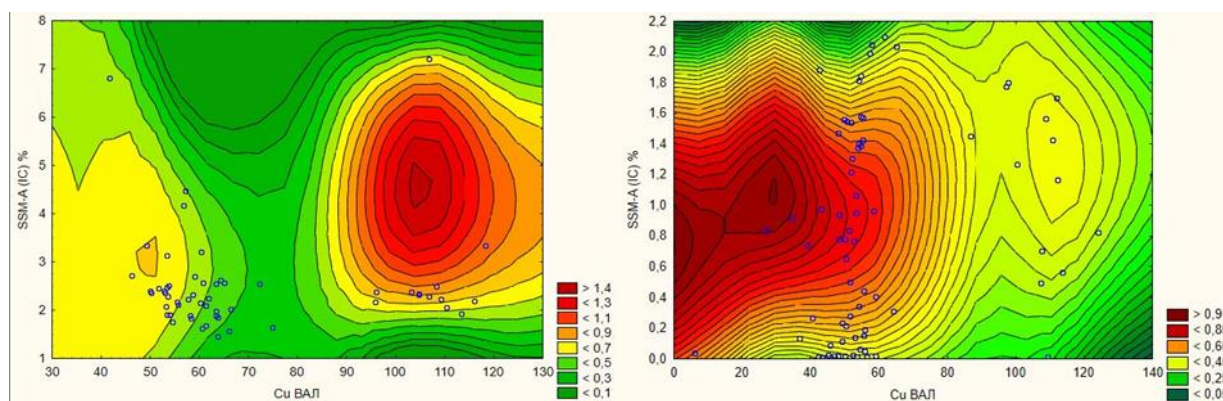


Рис. 6. График взаимного распределения валового содержания и обменных форм меди в зависимости от содержания неорганического углерода в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах

Содержание обменных форм меди как в черноземах миграционно-сегрегационных, так и в урбостратоземах невысокое. Тем не менее некоторые закономерности можно отметить и для распределения меди. Так, в черноземах, в горизонтах, содержащих в пределах от 2 до 7% неорганического углерода, концентрация подвижной меди увеличивается до 1,2–1,4 мг/кг при условии достаточно высокого валового содержания 100–110 мг/кг. В антропогенно-измененных почвах подвижность меди ниже, но концентрируются они и при более низком общем содержании металла, и в диапазоне более низких значений неорганического углерода – 0,4–1,4%. Иными словами, в черноземах подвижные соединения меди приурочены к карбонатному барьеру и материнской породе, а в урбостратоземах – к поверхностным горизонтам незагрязненных почв. При загрязнении содержание обменных форм меди снижается до минимума.

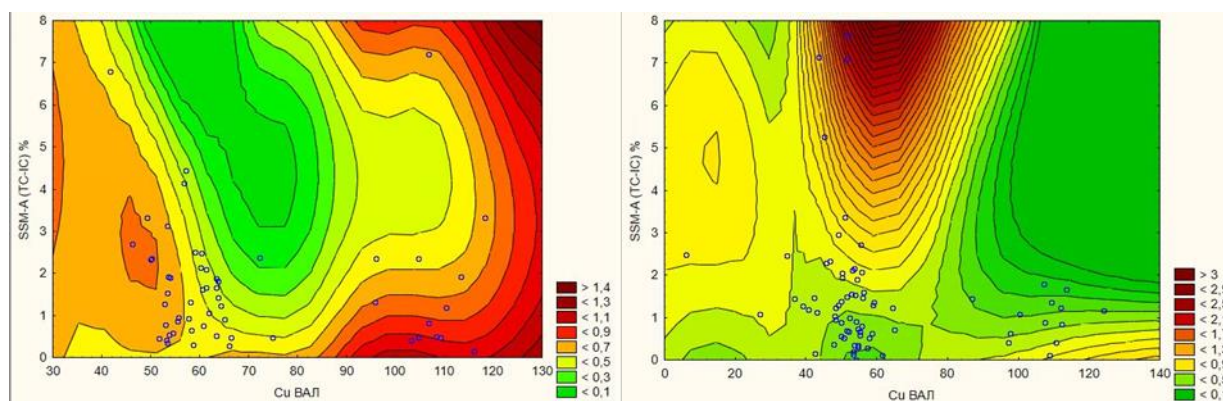


Рис. 7. График взаимного распределения валового содержания и обменных форм меди в зависимости от содержания углерода гумуса в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах

Содержание органического углерода в черноземах миграционно-сегрегационных мало влияет на накопление подвижных соединений меди (рис. 7).

При возрастании загрязнения медью до уровня свыше 1,5 ПДК наблюдается увеличение количества обменных форм металла выше 0,7 мг/кг. В урбостратоземах еще более высокое содержание обменных соединений меди (2 мг/кг и выше ПДК) наблюдается при содержании углерода гумуса в пределах 6–8%. Такое высокое количество органического вещества на территории Ростовской агломерации встречается только в лесопосадках. К сожалению, экологическое и санитарное состояние их далеко от идеального – встречаются иногда даже несанкционированное складирование ТБО и строительного мусора. Однако медь, скорее всего попадает в почву древесных массивов при их обработке медьсодержащими фунгицидами.

Заключение

Результаты показали, что в области значений валового содержания свинца до 50 мг/кг не было обнаружено закономерностей между количеством подвижного свинца и содержанием неорганического углерода в черноземах миграционно-сегрегационных. Однако, при антропогенном загрязнении проявляется связывающая роль карбонатов в отношении свинца: чем выше валовое содержание свинца, тем больше доля обменных соединений этого элемента в общем количестве. Эта закономерность была отмечена как в черноземах, так и в урбостратоземах.

Для цинка была выявлена закономерность, раскрывающая роль органического углерода в связывании этого металла. В черноземах миграционно-сегрегационных содержание обменного цинка увеличивалось с ростом содержания органического углерода. Однако, в антропогенно-измененных почвах такая связь отсутствовала. В черноземах подвижность цинка проявляла два максимума – при низком валовом содержании цинка и высоком содержании неорганического углерода, а также в поверхностных слоях урбостратоземов. Наименьший уровень подвижности цинка был отмечен в незагрязненных урбостратоземах.

Для меди было обнаружено, что в черноземах миграционно-сегрегационных и урбостратоземах содержание обменных форм меди невысокое. Однако в черноземах концентрация подвижной меди увеличивалась с ростом содержания органического углерода. В урбостратоземах подвижность меди была ниже, но при загрязнении

содержание обменных форм меди увеличивалось при низком общем содержании металла и низких значениях неорганического углерода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023–0008, а также при финансовой поддержке Гранта Президента для молодых ученых-кандидатов наук МК-3257.2022.1.4.

Список использованных источников:

1. Манджиева С.С. Соединения тяжелых металлов в почвах Нижнего Дона как показатель их экологического состояния: Автореф. дисс. ... к.б.н / 03.00.27 – почвоведение, 03.00.16 – экология. Ростов-на-Дону: ЮФУ. 2009. – 25 с.
2. Бауэр Т.В. Поглощение и стабилизация цинка и меди в черноземе обыкновенном карбонатном при поступлении их в форме различных соединений: Автореф. дисс. ... к.б.н./ 03.02.13 – почвоведение. М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2018. – 25 с.
3. Горбов С.Н., Безуглова О.С., Вардуни Т.В., Горовцов А.В., Тагивердиев С.С., Гильдебрант Ю.А. Генотоксичность и загрязнение тяжелыми металлами естественных и антропогенно-измененных почв Ростова-на-Дону // Почвоведение, 2015. № 12. – С. 1519–1529.
4. Горбов С.Н., Безуглова О. С. Почвенный покров Ростовской агломерации. Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. 188 с.
5. Безуглова О.С. Горбов С.Н. Морозов И.В. Невидомская Д.Г. Урбопочвоведение. – Ростов-на-Дону: Южный Федеральный Университет, 2012. – 264 с.
6. Горбов С.Н., Безуглова О.С. Специфика органического вещества почв Ростова-на-Дону // Почвоведение. – 2014. – №8. – С. 1–11.
7. Горбов С.Н., Безуглова О.С. Тяжелые металлы и радионуклиды в почвах Ростовской агломерации. Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. 124 с. DOI: 10.18522/801273349 ISBN: 978-5-9275-3529-3
8. Безуглова О.С., Горбов С.Н., Карпушова А.В., Тагивердиев С.С. Сравнительная характеристика методов определения органического углерода в почвах // Фундаментальные исследования. 2014. № 8 (часть 7). – стр. 1576–1580
9. Bezuglova Olga S., Gorbov Sergey N., Tischenko Svetlana A., Aleksikova Alexandra S., Tagiverdiev Suleiman S., Sherstnev Aleksey K., Dubinina Marina N. Accumulation and migration of heavy metals in soils of the Rostov region, South of Russia //Journal of Soils and Sediments. 2016. 16 (4). – P. 1203–1213. (DOI) 10.1007 / s11368-015-1165-8.

10. Сальник Н. В., Горбов С. Н., Безуглова О. С., Шерстнев А. К., Скрипников П. Н. // Распределение микроэлементов в естественных почвах Ростовской агломерации под различными типами растительных сообществ / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2022. – № 1(213). – С. 71–79. – DOI 10.18522/1026–2237-2022-1-71-79.

11. Gorbov S. N., Bezuglova O. S., Skripnikov P. N., Tishchenko S. A. // Soluble Organic Matter in Soils of the Rostov Agglomeration / Eurasian Soil Science. – 2022. – Vol. 55, No 7. – P. 957-970. – DOI 10.1134/S1064229322070055

12. Skripnikov P. N., Gorbov S. N., Bezuglova O. S., Tagiverdiev S. S. // Organic matter content and humus reserves in natural soils of Rostov agglomeration // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2022. – Vol. 14, No. 4. – P. 185-199. – DOI 10.12731/2658-6649-2022-14-4-185-199.

13. Бурачевская М. В., Чаплыгин В. А., Минкина Т. М., Бауэр Т. В., Северина В. И. Изменения фракционно-группового состава соединений свинца в условиях загрязнения почв // Проблемы загрязнения объектов окружающей среды тяжелыми металлами: труды международной конференции (28–30 сентября 2022 г., Тула). Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого, 2022. - С. 151-154.

14. Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Назаренко О.Г., Максимов А.Ю., Замулина И.В., Бурачевская М.В., Сушкова С.Н. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга // Аридные экосистемы, 2018, том 24, № 3 (76), с. 43–55

15. Gorbov, S.; Bezuglova, O.; Plakhov, G.; Ivolgina, V. Accumulation and migration of mobile forms of lead and copper in urban soils of the Rostov agglomeration // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Book number: 3.2. pp 3-8. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.2/S13.001>

16. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России / Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

17. 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

18. 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

19. 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 // Volume 21, June 2020, e00266: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00266>.

Плахов Г.А., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. Взаимосвязь свинца, цинка и меди с органическим веществом и карбонатами в городских почвах (на примере Ростова-на-Дону)

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Цитирование:

Плахов Г.А., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. Взаимосвязь свинца, цинка и меди с органическим веществом и карбонатами в городских почвах (на примере Ростова-на-Дону) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/4/st_419.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202134419>.