

Рус. УДК 631.416.9

Содержание и распределение Mn в чернозёме южном при возделывании различных сельскохозяйственных культур

Кучеренко Алексей Васильевич, Бирюкова Ольга Александровна, Кучменко Екатерина Вадимовна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия;

alkucherenko@sfedu.ru

DOI: 10.18522/2308-9709-2021-36-1

Аннотация:

Приведены результаты исследований содержания и распределения марганца в черноземе южном агроценозов центральной орошаемой зоны Ростовской области. Образцы почвы отбирали по генетическим горизонтам из 5 полнопрофильных разрезов: 2 – под озимой пшеницей; 2 – под виноградными растениями; 1 – под чистым паром. Для определения подвижных соединений Mn в почве использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор, с последующим применением атомно-абсорбционной спектрометрии. Общее содержание элемента определяли с помощью рентгено-флуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан МАКС-GV». Установлено, что содержание марганца, как валового, так и подвижного, в черноземе южном соответствует фоновому уровню и не превышает допустимых концентраций. Низкая подвижность биомикроэлемента (1,6–5,0 % от валового) является региональной особенностью почвы. Биологические особенности возделываемых культур обуславливают содержание подвижных соединений марганца. Выявлена общая закономерность в распределении валовых и подвижных соединений Mn в чернозёме южном, обусловленная биогенной аккумуляцией в верхней части гумусового горизонта. Установлены особенности внутрипрофильной дифференциации валового и подвижного марганца по генетическим горизонтам чернозема южного: для валового марганца характерно плавное уменьшение вниз по профилю, для его подвижных соединений – накопление в верхних гумусовых горизонтах, затем резкое снижение с увеличением щелочности почвенного раствора

Ключевые слова: чернозём южный, марганец, озимая пшеница, виноградное растение

Eng. *Mn content and distribution in southern chernozem during cultivation of various crops.*

Kucherenko Aleksej Vasil`evich, Biryukova Ol`ga Aleksandrovna, Kuchmenko Ekaterina Vadimovna

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia; alkucherenko@sfedu.ru

Abstract:

The results of investigations of manganese content and distribution in Haplic Chernozem agrocenoses of the central irrigated zone of Rostov region are given. Soil samples were taken by genetic horizons from 5 full-profile transects: 2 – under winter wheat; 2 – under vine plants; 1 – under clean fallow. Acetate-ammonium buffer solution was used to determine mobile Mn compounds in soil, followed by application of atomic absorption spectrometry. The total content of the element was determined by X-ray fluorescence analysis on the device "Spectroscan MAKS-GV". It was found that the content of manganese, both gross and mobile, in the Haplic Chernozem corresponds to the background level and does not exceed permissible concentrations. The low mobility of biomicroelement (1,6 -5,0 % of total) is a regional feature of soil. Biological features of cultivated crops determine the content of mobile compounds of manganese. The general regularity in distribution of gross and mobile compounds of Mn in Haplic Chernozem, caused by biogenic accumulation in the upper part of humus horizon, has been revealed. The peculiarities of intraprofile differentiation of gross and mobile manganese by genetic horizons of Haplic Chernozem have been established: for gross manganese a smooth decrease down the profile, for its mobile compounds – accumulation in the upper humus horizons, then a sharp decrease with an increasing the alkalinity of the soil solution.

Keywords: Haplic Chernozem, manganese, winter wheat, grape plant

Введение

Чернозёмы европейской части юга России являются одними из самых высокоплодородных почв мира. Однако уже в течение длительного времени нарастают процессы их деградации, что приводит к снижению продуктивности и устойчивости агроэкосистем. Вместе с этим появляется проблема обеспеченности сельскохозяйственных культур микроэлементами, являющимися катализаторами жизненно важных физиологических процессов в организме. Именно таким важнейшим микроэлементом является марганец. Он незаменим в процессах фотосинтеза, дыхания, ассимиляции азота, активации ферментов, минерального питания [6,9]. При недостатке в почвах марганца многие растения угнетены различными болезнями: злаковые поражаются серой пятнистостью (межжилковый хлороз). Нехватка марганца вызывает заболевание и у виноградного растения: светло-зелёные пятна на листьях, при этом цвет жилок и прилегающая к ним ткань остаются зелеными, что придает листу узорчатость. Постепенно листья желтеют полностью, на пораженных тканях проявляется некроз. У побегов наблюдается короткоузлие, пожелтение листьев, соцветия развиваются слабо, ягоды горошатся. Избыток этого минерального элемента также вреден. Излишне высокое содержание марганца приводит к угнетению и даже гибели растений: приостанавливается рост, листья уменьшаются, и проявляется хлороз, стебли становятся ломкими вследствие отмирания наружных тканей [11,17]. Данный элемент активно влияет на процессы трансформации многих макро- и микроэлементов [8,19]. Вследствие этого

снижается урожайность сельскохозяйственных культур и ухудшается качество производимой продукции.

В почвах марганец содержится в виде солей, оксидов, гидроксидов, органических соединений и фосфатов. Оксиды и гидроксиды образуют пленки на отдельных частицах, конкреции, включения и натеки. Содержание подвижного марганца в почвах колеблется в значительных пределах, наименьшее его количество наблюдается в карбонатных и перегнойно-карбонатных почвах [13,15]. Поскольку растения отличаются специфической потребностью в марганце, возрастает актуальность изучения его содержания и подвижности в почве различных агроценозов.

Объект и методы исследования

Объект исследования – чернозём южный среднemocный тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке. Согласно «Классификации и диагностике почв России» исследуемый чернозём следует отнести к агрочернозёму текстурно-карбонатному [23]. Отличительным признаком черноземов южных является укороченный гумусовый горизонт 30–65 см [2, 23]. Профиль этих почв характеризуется темно-серой с легким буроватым оттенком окраской, книзу переходящей в неоднородную, бурую с темными гумусовыми затеками.

Исследования проведены в производственных условиях на базе ОАО «Янтарное» Мартыновского района Ростовской области. На территории хозяйства с различными сельскохозяйственными культурами было заложено 5 полнопрофильных разрезов: 2 – под озимой пшеницей; 2 – под виноградными растениями; 1 – под чистым паром (рис.1).

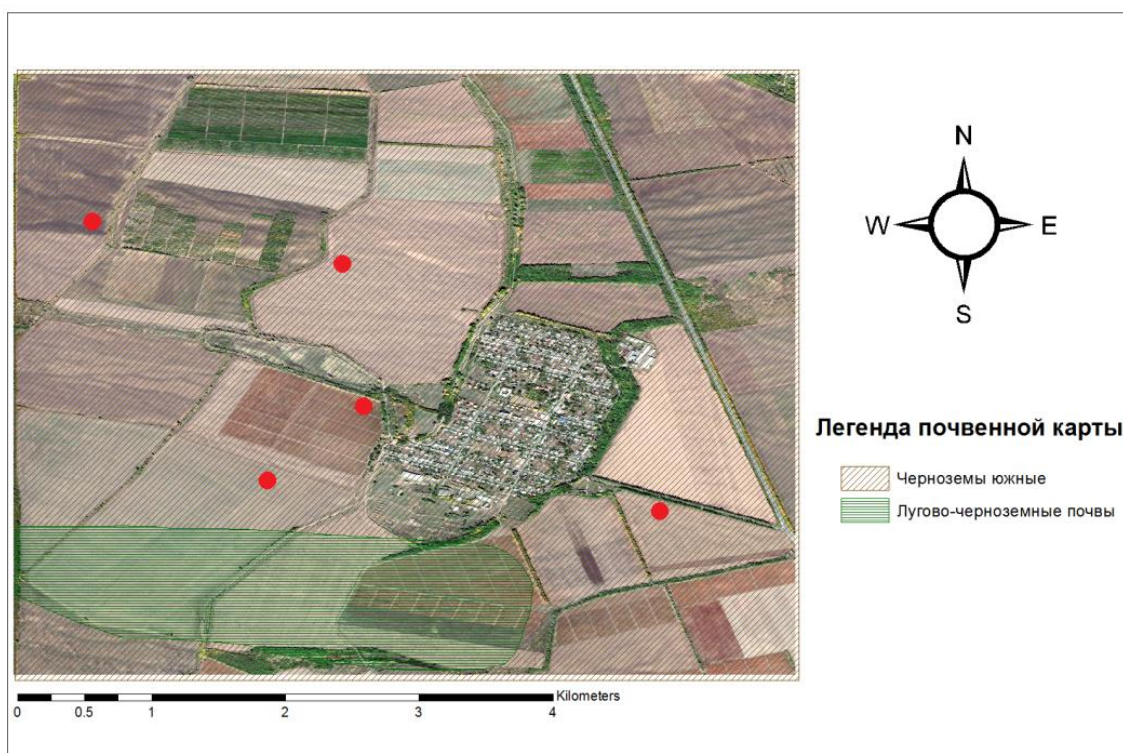


Рис. 1 – Почвенная карта ОАО «Янтарное» Мартыновского района, Ростовской области

Лабораторные исследования проводили в трехкратной повторности, за конечный результат принималось среднее между тремя показателями. Для определения подвижных соединений Mn в почве использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор (рН 4,8) с последующим применением атомно-абсорбционной спектроскопии (отношение почвы к раствору 1:10) [17]. Содержание валовых форм соединений изучаемого элемента определяли с помощью рентгено-флуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан МАКС - GV» [17, 19]. Статистические анализы полученных результатов проводили в программе STATISTICA 13.

Для изучения процессов аккумуляции – миграции по профилю изучаемых элементов, был рассчитан коэффициент радиальной дифференциации по формуле:

$$R = \frac{C_{г.п.}}{C_{п.о.п.}}$$

где $C_{г.п.}$ – количество элемента в верхнем горизонте, мг/кг, $C_{п.о.п.}$ – количество элемента в породе (гор. С), мг/кг. Если $R > 1$, то элемент накапливается в поверхностном слое почвы, если же $R < 1$ происходит его вынос [5].

Результаты и обсуждение

Внутрипрофильное распределение валового марганца в чернозёме южном характеризуется снижением концентрации по мере увеличения глубины. На чистом пару общее содержание Mn в верхних горизонтах составляет 794, 5 мг/кг (А) и 709,1 мг/кг (АВ), с глубиной происходит его постепенное уменьшение до 569,2 мг/кг в горизонте С. Под озимой пшеницей среднее содержание валового Mn в гумусовом горизонте находится в пределах 863,0–892,0 мг/кг, уменьшается вниз по профилю до 737,0 мг/кг и 671,0 мг/кг в горизонтах В и С соответственно (рис. 3). Максимальное содержание валового Mn в верхних гумусовых горизонтах установлено и под виноградными растениями. Согласно исследованиям [15,16], виноградное растение активно участвует в перераспределении микроэлементов в корнеобитаемом слое, одним из которых является марганец. В горизонте Апах содержание этого биомикроэлемента составляет 805,0 мг/кг, снижаясь на 27,0 % вниз по профилю до 590,0 мг/кг (С) (рис. 2).

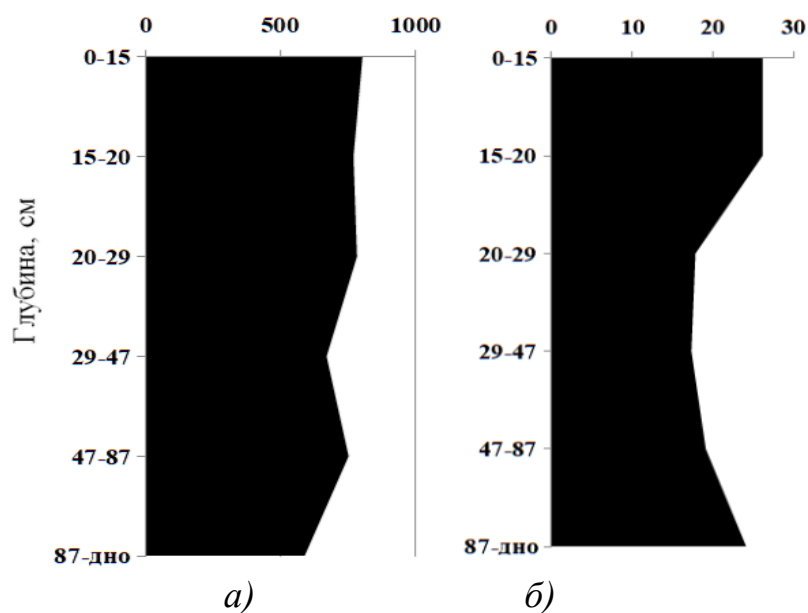


Рис. 2 – Профильное распределение валового и подвижного Mn в чернозёме южном (виноградник), мг/кг почвы: а) валовый, б) подвижный

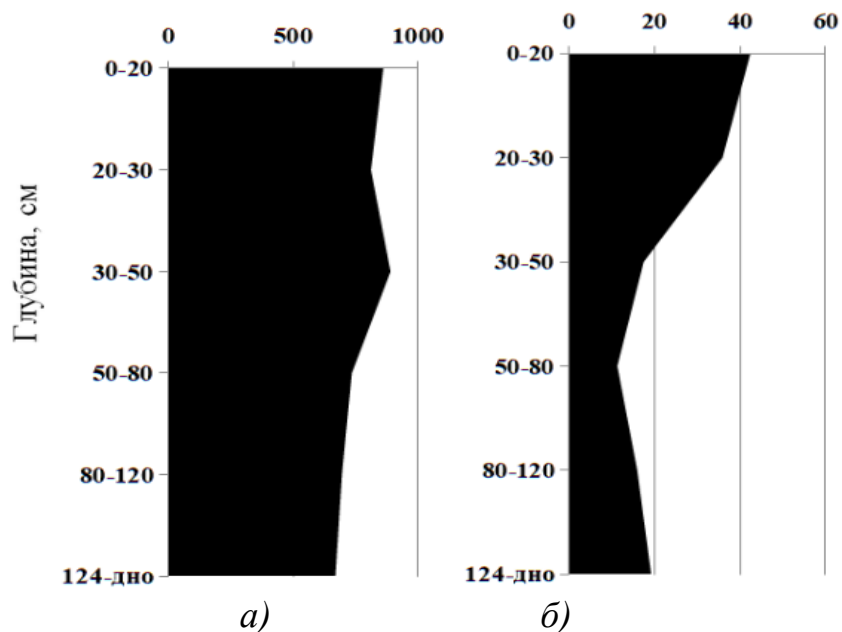


Рис. 3 – Профильное распределение валового и подвижного Mn в чернозёме южном (озимая пшеница), мг/кг почвы: а) валовый, б) подвижный

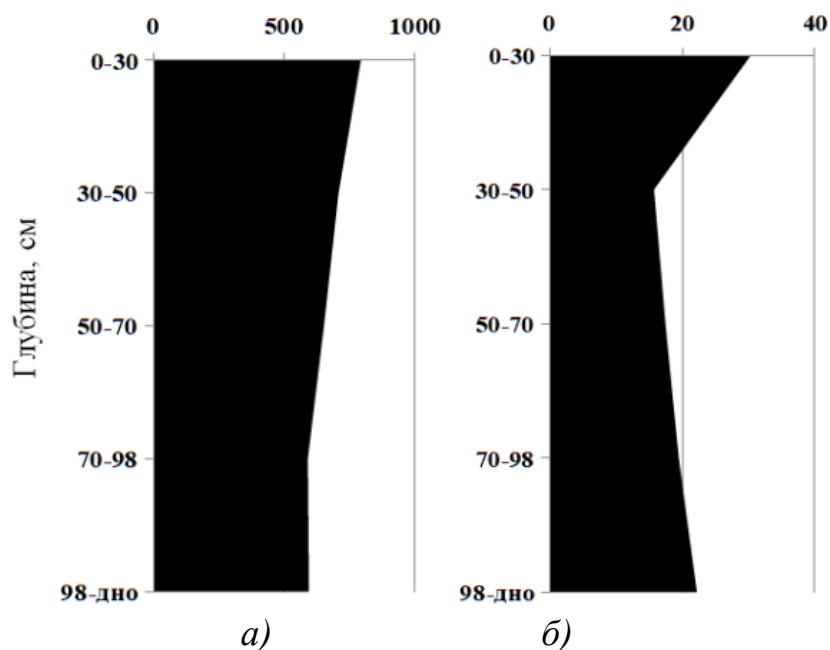


Рис. 4 – Профильное распределение валового и подвижного Mn в чернозёме южном (чистый пар), мг/кг почвы: а) валовый, б) подвижный

Рассчитанный коэффициент радиальной дифференциации свидетельствует о постепенном снижении валового марганца по профилю почвы с наибольшей его аккумуляции в гумусовых горизонтах на всех исследуемых производственных участках (рис. 5).

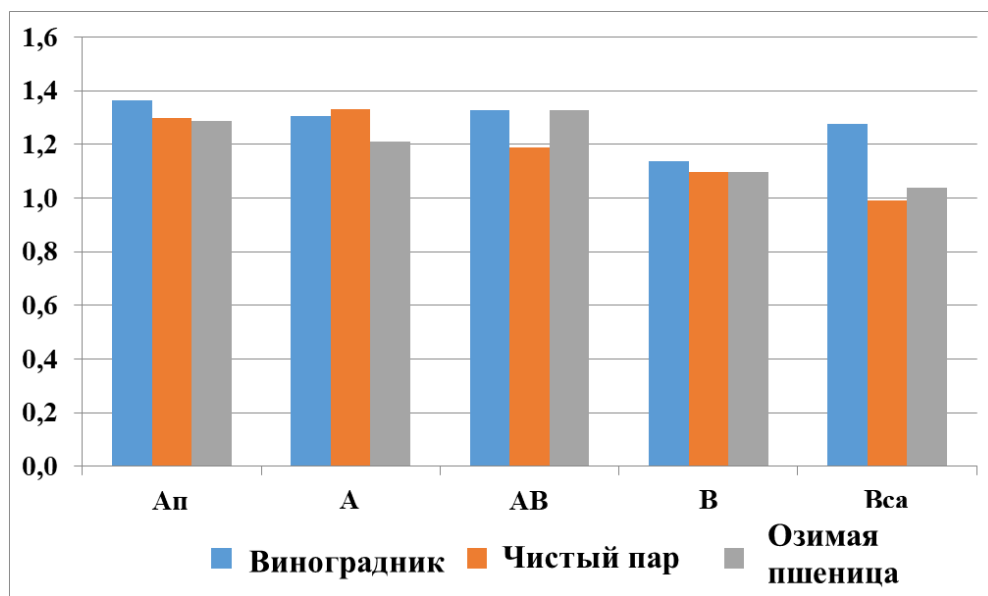


Рис. 5 – Коэффициент радиальной дифференциации валового Mn в почвенном профиле чернозёма южного

Полученные результаты согласуются с проведенными ранее исследованиями Н.А. Протасовой, Н.С. Горбуновой [6, 20]. Согласно их данным, распределение микроэлементов в чернозёмных почвах связано с

биогенной аккумуляцией многих элементов-биофилов в верхней части гумусового горизонта. Вместе с этим марганец характеризуется способностью образовывать труднорастворимые соединения в окислительной обстановке верхней толщ почвы. По мнению ряда авторов [12, 20, 24] марганец может накапливаться в разных почвенных горизонтах, особенно в обогащенных оксидами и гидроксидами железа, однако обычно этот элемент аккумулируется в верхнем слое почв вследствие его фиксации органическим веществом. Органическое вещество обуславливает структуру почвы, степень развития общей сорбционной поверхности, содержание коллоидных фракций, возможность специфической сорбции элементов и образования труднорастворимых или слабодиссоциирующих комплексных соединений [9].

Большое значение для оценки обеспеченности почв марганцем имеет определение его подвижных соединений, из-за недоступности его окисленных форм растениям [14].

Под чистом паром (35,0–30,4 мг/кг), озимой пшеницей (42,5–36,0 мг/кг) и виноградным растением (26,2–18,0 мг/кг) отмечается высокое содержание подвижного марганца в верхних горизонтах почвы (рис. 2–4). Вниз по профилю происходит постепенное уменьшение его содержания. Марганец отличается активным поглощением и быстрым переносом в растениях [20]. Вследствие этого наблюдается снижение количества подвижного марганца под озимой пшеницей в горизонте АВ до 17,6 мг/кг против 40,3 мг/кг в горизонтах Апах и Аподпах, что составляет 56,0 % (рис. 3). Под виноградным растением в горизонте Вса наблюдается некоторое увеличение подвижного Мп на 1,8 мг/кг (10,0 %) в сравнении с горизонтом В (рис. 2). Похожая тенденция выявлена и под чистым паром увеличение подвижного Мп составляет 2,0 мг/кг (11,0 %) в сравнении с горизонтом В (рис. 4).

Исходя из рассчитанного коэффициента радиальной дифференциации распределение подвижного марганца в профиле чернозема южного иное, чем валового. Накопление подвижных соединений этого биомикроэлемента выявлено только в гумусовых горизонтах Апах и Аподпах ($K > 1,0$). Максимальное его накопление выявлено при возделывании озимой пшеницы, а минимальное – под виноградными растениями, что, вероятно, связано с биологическими особенностями этих культур (рис.6). Больше содержание марганца ближе к поверхности почвы обусловлено и применением минеральных удобрений, которые содержат этот элемент. К тому же многие минеральные удобрения физиологически кислые, поэтому подвижность марганца при их внесении увеличивается. Кроме этого, в ризосфере почва подкисляется за счет корневых выделений, вследствие чего повышается растворимость марганца в пахотном горизонте.

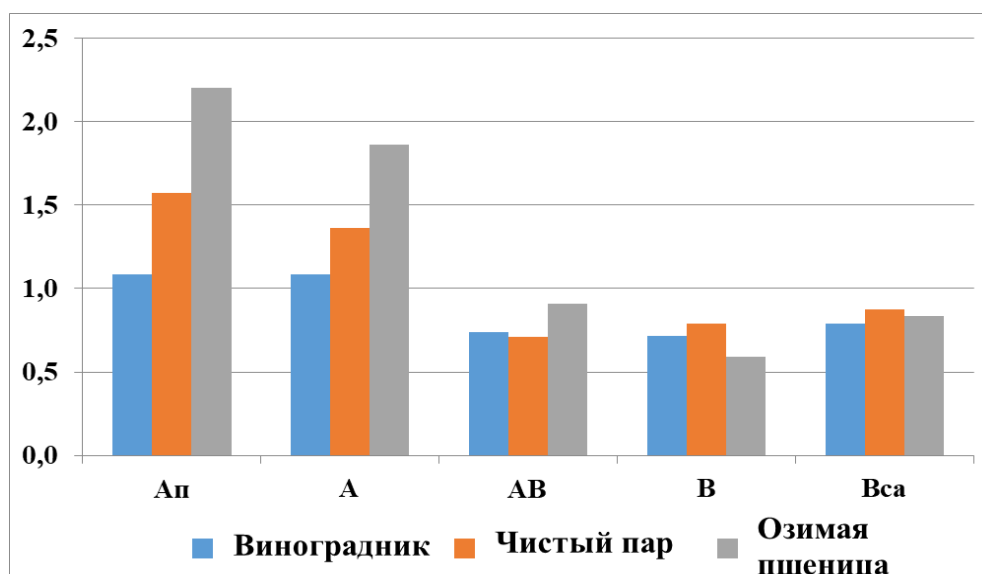


Рис. 6 – Коэффициент радиальной дифференциации подвижного Mn в почвенном профиле чернозёма южного

Важным показателем агроэкологической оценки содержания в почве микроэлементов является степень их подвижности, которая представляет собой отношение подвижных соединений элемента к его валовому содержанию, выраженное в процентах. В посевах озимой пшеницы доля подвижных соединений Mn составляет 1,6–5,0 % от его валового количества, при возделывании винограда – 2,3–4,1 %, что определяется генетическими особенностями почвы. Низкая подвижность соединений марганца в черноземе южном обусловлена влиянием гумуса, карбонатов, щелочной реакцией почвенного раствора и тяжелым гранулометрическим составом. Органическое вещество является одним из основных компонентов почвы, влияющих на подвижность микроэлементов. Растворимый марганец активно включается в органическое комплексообразование, способствуя гумусообразованию, что снижает его доступность растениям [24].

Ввиду большей окисленности чернозём южный обладает высоким окислительно-восстановительным потенциалом, что переводит Mn в состояние, недоступное для растений (Mn^{4+} , Mn^{3+}). По обобщенным данным [2, 15] содержание карбонатов кальция в пахотном горизонте составляет 2,3–3,4 %. Книзу их количество довольно быстро увеличивается и достигает максимума (13–17 %, а иногда до 21 %) в горизонтах BC и C, где они накапливаются в виде прожилок и белоглазки. Карбонатные роды чернозема южного характеризуются соответственно и высоким значением pH, при котором этот биомикроэлемент переходит в труднодоступную для растений форму.

Проведенный нами корреляционный анализ выявил сильную отрицательную зависимость между количеством подвижного марганца в черноземе южном и содержанием CaO ($r = -0,95$). По данным И.Г. Сборниковой [21] снижение подвижности биомикроэлементов в

черноземных почвах связано с накоплением так называемых «активных» карбонатов, извлекаемых 0,1 н $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ при соотношении почва : раствор, равном 1: 75. Эти соединения кальция наиболее активно участвуют в различных реакциях и определяют значение рН почвенного раствора. Абсолютная величина активных карбонатов колебалась от 1,22 % в Апах до 7,78 % в В, что в относительных процентах от валовых карбонатов составило 60–62 %.

Дисперсионный анализ полученных данных не установил существенных различий в содержании как валового, так и подвижного Мп под изучаемыми культурами (рис.7). Выявленные закономерности находятся на уровне тенденции.

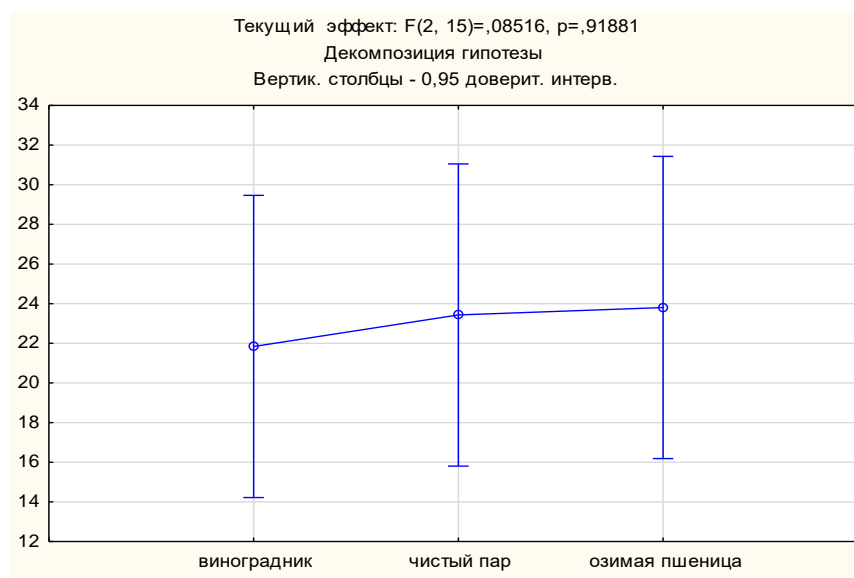


Рис.7 – Влияние различных культур на содержание подвижного Мп в чернозёме южном(в целом по профилю), мг/кг почвы

Оценку степени загрязнения чернозема южного исследуемым элементом проводили с учетом ПДК: 1500,0 мг/кг – для валового и 700,0 мг/кг – для подвижного Мп [22]. Превышения гигиенических нормативов по всему профилю чернозёма южного не обнаружено.

Выводы

1. Содержание валовых и подвижных соединений Мп в чернозёме южном соответствует их региональному уровню и не превышает ПДК, что имеет важное экологическое значение.
2. Общее содержание Мп в чернозёме южном при возделывании различных сельскохозяйственных культур находится, практически, на одном уровне. Содержание подвижных соединений биомикроэлемента зависит от биологических особенностей выращиваемых культур.
3. Распределение валовых и подвижных соединений микроэлемента в чернозёме южном различно: для валового марганца характерно плавное

уменьшение вниз по профилю, для его подвижных соединений – накопление в верхних гумусовых горизонтах, затем резкое снижение с увеличением щелочности почвенного раствора.

4. Генетические особенности чернозема южного обуславливают низкую подвижность марганца, что необходимо учитывать при возделывании сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Акимцев В.В., Митлин З.М., Смольянинов И.И. Почвы и здоровье человека. М.: Знание, 1966. 48 с.
2. Безуглова О.С., Хырхырова М.М. Почвы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2008. 352 с.
3. Бирюкова О.А., Ельников И.И., Крыщенко В.С. Оперативная диагностика питания растений, Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2010. 168 с.
4. Битюцкий Н.П. Минеральное питание растений: учебник. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2014. 540 с.
5. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов: (ландшафтно-геохимические процессы). М.: Географический факультет МГУ, 2007. 350 с.
6. Горбунова Н. С., Протасова Н. А. Формы соединений марганца, меди и цинка в черноземах Центрально-черноземного региона// Вестник ВГУ, 2008. № 2. С. 77–85.
7. ГОСТ Р 58595-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Отбор проб. docs.cntd.ru/document/1200168814
8. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.
9. Жуйков, Д. В. Мониторинг содержания марганца в агроценозах // Достижения науки и техники АПК, 2019. Т. 33. № 3. С. 19–22.
10. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013–2020 годы. Часть 1. 2013. / Ред. В.Н. Василенко. Ростов-на-Дону: Мин. с/х и продовольствия Ростовской обл. 248 с.
11. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
12. Кирилюк В.П. Микроэлементы в системе почва – виноградное растение в условиях Центральной Молдавии: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03. Москва, 1981. 52 с.
13. Кочмар И. Н., Карабын В. В. Экологические аспекты геохимии марганца в зоне техногенеза отвалов угольных шахт // Журнал Белорусского государственного университета. Экология, 2017. № 4. С. 81–91.
14. Лукин С.В. Мониторинг содержания микроэлементов Zn, Cu, Mo, Co, Pb, Cd, As, Hg в пахотных чернозёмах юго-запада Центрально-Чернозёмной зоны // Агрохимия, 2012. №11. С. 52–59.

15. Лукьянов А.А. Морфогенетическая характеристика черноземов южных // Научная жизнь, 2016. №.11. С. 71–79.
16. Лукьянов А.А. Процесс деградации почв под виноградниками и пути решения проблемы // Научная жизнь, 2016. №. 6. С.47–54.
17. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.:ЦИНАО, 1992. 61 с.
18. Минеев В. Г. Агрохимия: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004. 720 с.
19. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. М.: МГУ, 2001. 689 с.
20. Протасова Н.А. Микроэлементы (Ti, Mn, Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co, Mo, Be, Ba, Sr, Zr, Ga, B, I) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2003. 368 с.
21. Сборникова И.Г. Активный кальций в североприазовском чернозёме под виноградником и метод его определения// Научные основы рационального использования и повышения плодородия почв. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1978. С. 83–85.
22. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
23. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Герасимова М.И., Лебедева И.И. Классификация почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
24. Cheshire M.V., Verrow M.L., Goodman B., Mundie C.M. Metal distribution and nature of some Cu, Mn and V complexes in humic and fulvic acid fractions of soil organic matter // Geochim. Cosmochim. Acta., 1977. V. 41. P. 1131–1133.

Spisok literaturey

1. Akimcev V.V., Mitlin Z.M., Smol'yaninov I.I. Pochvy i zdorov'e cheloveka. М.: Znanie, 1966. 48 s.
2. Bezuglova O.S., Hyrhyrova M.M. Pochvy Rostovskoj oblasti. Rostov n/D: YUFU, 2008. S. 352.
3. Biryukova O.A., El'nikov I.I., Kryshchenko V.S. Operativnaya diagnostika pitaniya rastenij. Rostov/D: Izd-vo YUFU. 2010. 168 s.
4. Bityuckij N.P. Mineral'noe pitanie rastenij: uchebnik. SPb.:Izd-vo S.-Peterb. un-ta. 2014. 540 s.
5. Glazovskaya, M. A. Geohimiya prirodnyh i tekhnogennyh landshaftov: (landshaftno-geohimicheskie processy). М.: Geograficheskij fakul'tet MGU, 2007. 350 s.
6. Gorbunova N. S., Protasova N. A. Formy soedinenij marganca, medi i cinka v chernozemah Central'no – chernozemnogo regiona// Vestnik VGU. 2008. № 2. S. 77–85.
7. GOST R 58595-2019. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Pochvy. Otkor prob. docs.cntd.ru/document/1200168814
8. Dobrovolskij V.V. Osnovy biogeohimii. М.: Akademiya. 2003. 400 s.

9. Zhujkov D. V. Monitoring sodержaniya marganca v agrocenozah // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. T. 33. № 3. S. 19–22.
10. Zonal'nye sistemy zemledeliya Rostovskoj oblasti na 2013-2020 gody. CHast' 1. 2013. / Red. V.N. Vasilenko. Rostov n/D: Min. s/h i prodovol'stviya Rost. obl. 248 s/
11. Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah: Per. s angl. M.: Mir. 1989. 439 s.
12. Kirilyuk V.P. Mikroelementy v sisteme pochva-vinogradnoe rastenie v usloviyah Central'noj Moldavii: avtoreferat dis. kand. biol. nauk: 06.01.03. Moskva, 1981. 52 s.
13. Kochmar I. N., Karabyn V. V. Ekologicheskie aspekty geohimii marganca v zone tekhnogeneza otvalov ugol'nyh shaht // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya. 2017. № 4. S. 81–91.
14. Lukin S.V. Monitoring sodержaniya mikroelementov Zn, Cu, Mo, Co, Pb, Cd, As, Hg v pahotnyh chernozyomah yugo-zapada Central'no-Chernozyomnoj zony // Agrohimiya. 2012. №11. S. 52–59.
15. Luk'yanov A.A. Morfogeneticheskaya harakteristika chernozemov yuzhnyh// Nauchnaya zhizn'. 2016. №.11. S. 71–79.
16. Luk'yanov A.A. Process degradacii pochv pod vinogradnikami i puti resheniya problemy // Nauchnaya zhizn'. 2016. №. 6. S.47–54.
17. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelyh metallov v pochvah sel'hozogodij i produkcii rastenievodstva. M.:CINAO. 1992. 61 s.
18. Mineev V. G. Agrohimiya: Uchebnik. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Izd-vo MGU, Izd-vo «KolosS». 2004. 720 s.
19. Mineev V.G. Praktikum po agrohimii. M.: MGU. 2001. 689 s.
20. Protasova N.A. Mikroelementy (Ti, Mn, Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co, Mo, Be, Ba, Sr, Zr, Ga, B, I) v chernozemah i seryh lesnyh pochvah Central'nogo Chernozem'ya. Voronezh: Izd-vo Voronezh. un-ta. 2003. 368 s.
21. Sobornikova I.G. Aktivnyj kal'cij v severopriazovskom chernozyome pod vinogradnikom i metod ego opredeleniya// Nauchnye osnovy racional'nogo ispol'zovaniya p povysheniya plodorodiya pochv. Rostov n/D: Izd-vo RGU, 1978. S. 83–85.
22. SanPiN 1.2.3685-21: Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya. <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
23. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Gerasimova M.I., Lebedeva I.I. Klassifikaciya pochv Rossii. Smolensk: Ojkumena, 2004. 342 s.
24. Cheshire M.V., Berrow M.L., Goodman B., Mundie C.M. Metal distribution and nature of some Cu, Mn and V somplexes in humic and fulvic acid fractions of soil organic matter // Geochim. Cosmochim. Acta. 1977. V. 41. R. 1131–1133.