

УДК: 10.18522/2308-9709-2021-36-1
<https://new.jbks.ru/archive/issue-36/article-1>

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

[Бирюкова О. А.¹](#), [Кучеренко А. В.²](#), [Кучменко Е. В.³](#)

1. Доктор сельскохозяйственных наук
2. Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет
3. Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет

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 внутривидовой 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

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 (межджилковый 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 горчатся. 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 натёки. 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).

Image not found or type unknown

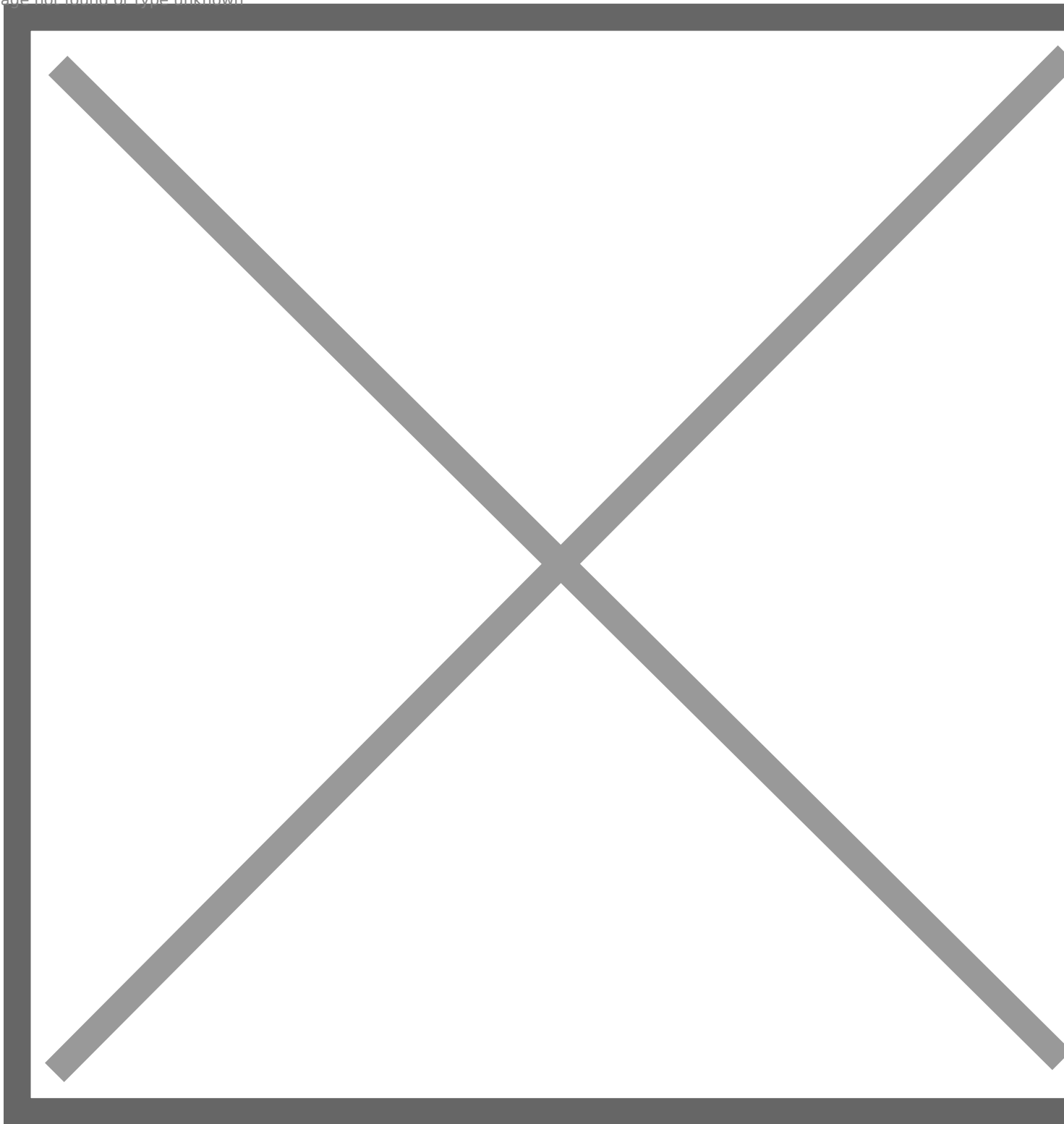


Рис. 1 – Почвенная карта ОАО «Янтарное» Мартыновского района, Ростовской области

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 (pH 4,8) с последующим применением атомно-абсорбционной спектрометрии (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:



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).

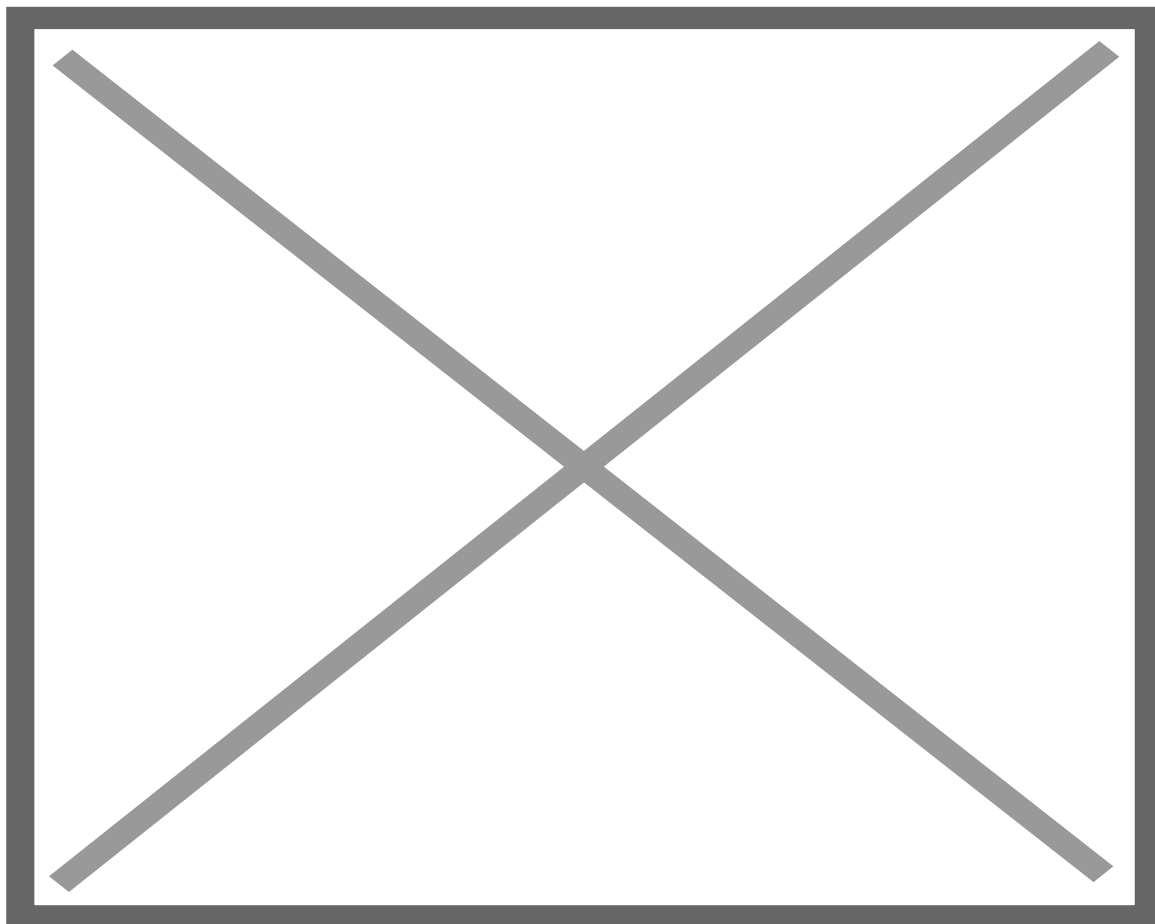


Рис. 2 - Профильное распределение валового и подвижного Mn в чернозёме южном (виноградник), мг/кг почвы: а) валовый, б) подвижный

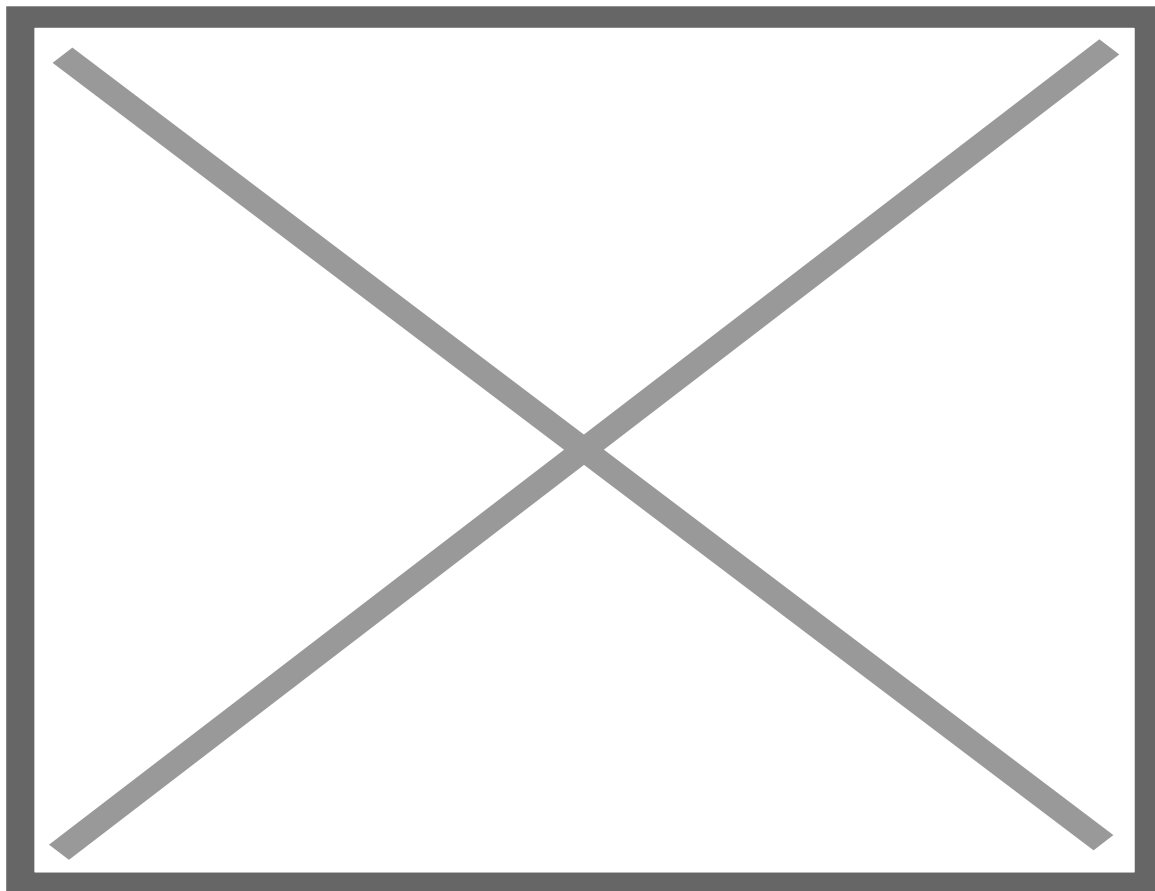


Рис. 3 - Профильное распределение валового и подвижного Mn в чернозёме южном (озимая пшеница), мг/кг почвы: а) валовый, б) подвижный

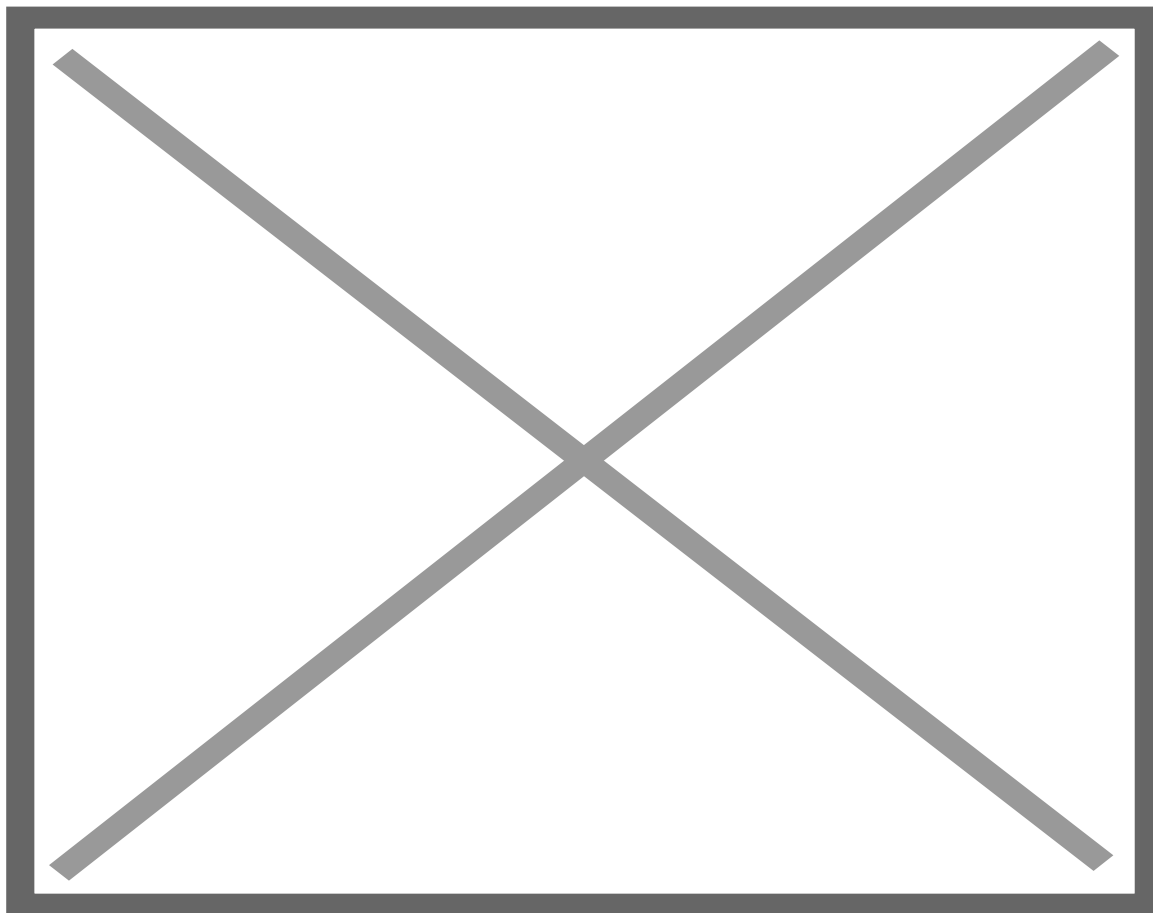


Рис. 4 - Профильное распределение валового и подвижного Mn в чернозёме южном (чистый пар), мг/кг почвы: а) валовый, б) подвижный

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).

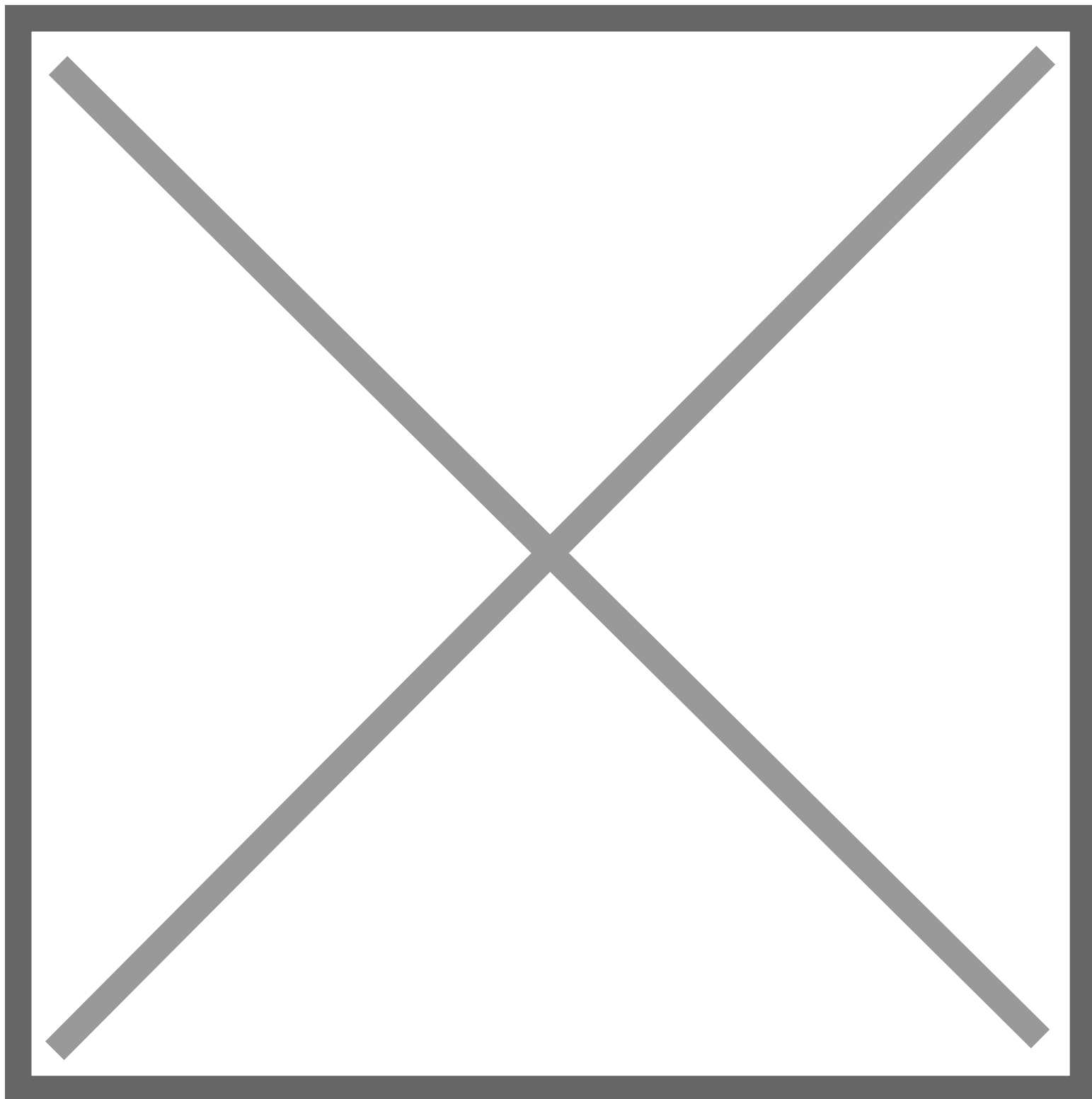


Рис. 5 - Коэффициент радиальной дифференциации валового Mn в почвенном профиле чернозёма южного

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 толщи почв. 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 Mn на 1,8 мг/кг (10,0 %) в сравнении с горизонтом В (рис. 2). Похожая тенденция выявлена и под чистым паром увеличение подвижного Mn 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). Большее 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.

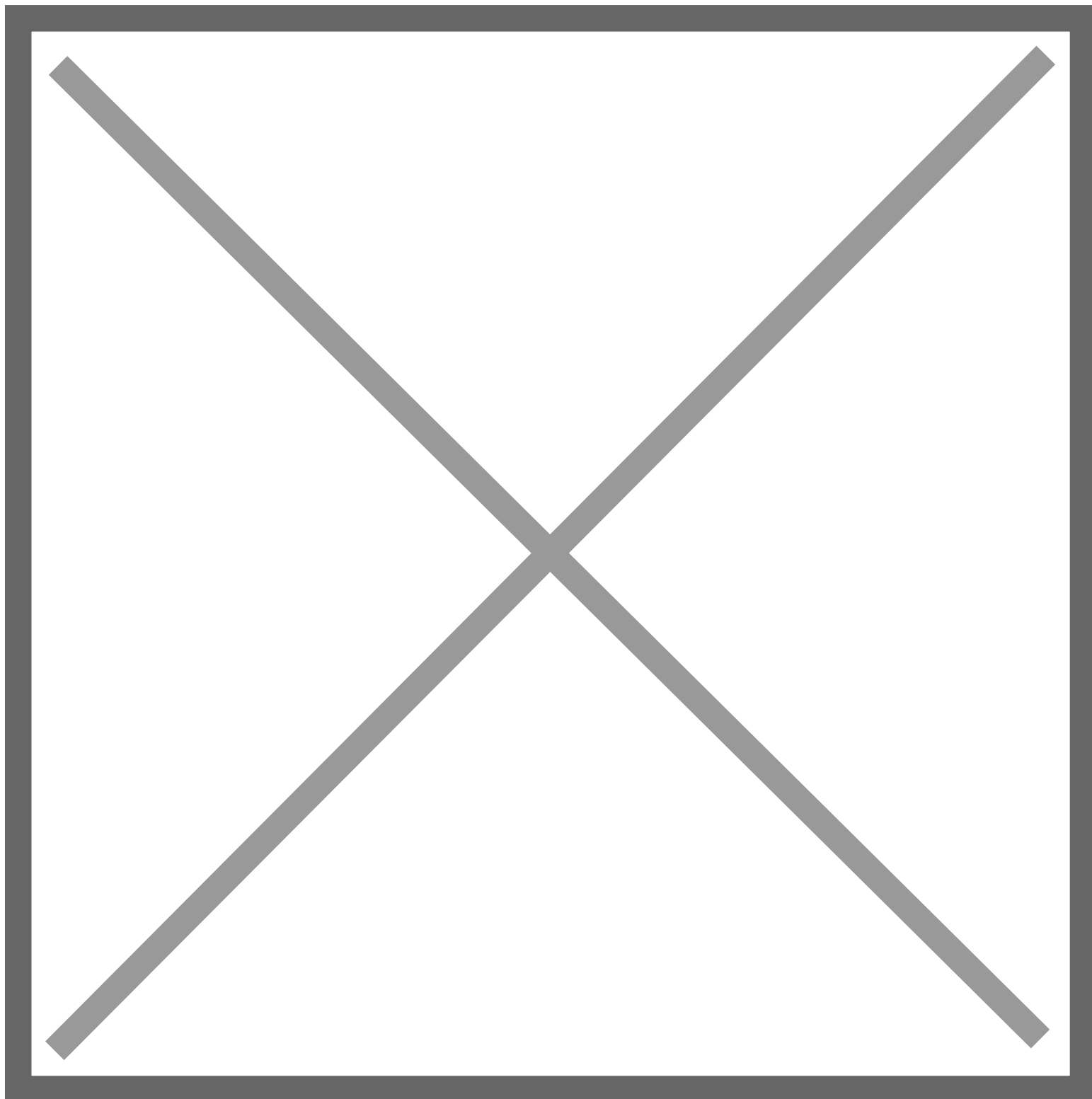


Рис. 6 – Коэффициент радиальной дифференциации подвижного Мп в почвенном профиле чернозёма южного

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 комплексобразование, 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 $(NH_4)_2C_2O_4$ при соотношении почва : раствор, равном 1: 75. Эти соединения кальция наиболее активно участвуют в различных реакциях и определяют значение pH 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 Mn под изучаемыми культурами (рис.7). Выявленные закономерности находятся на уровне тенденции.

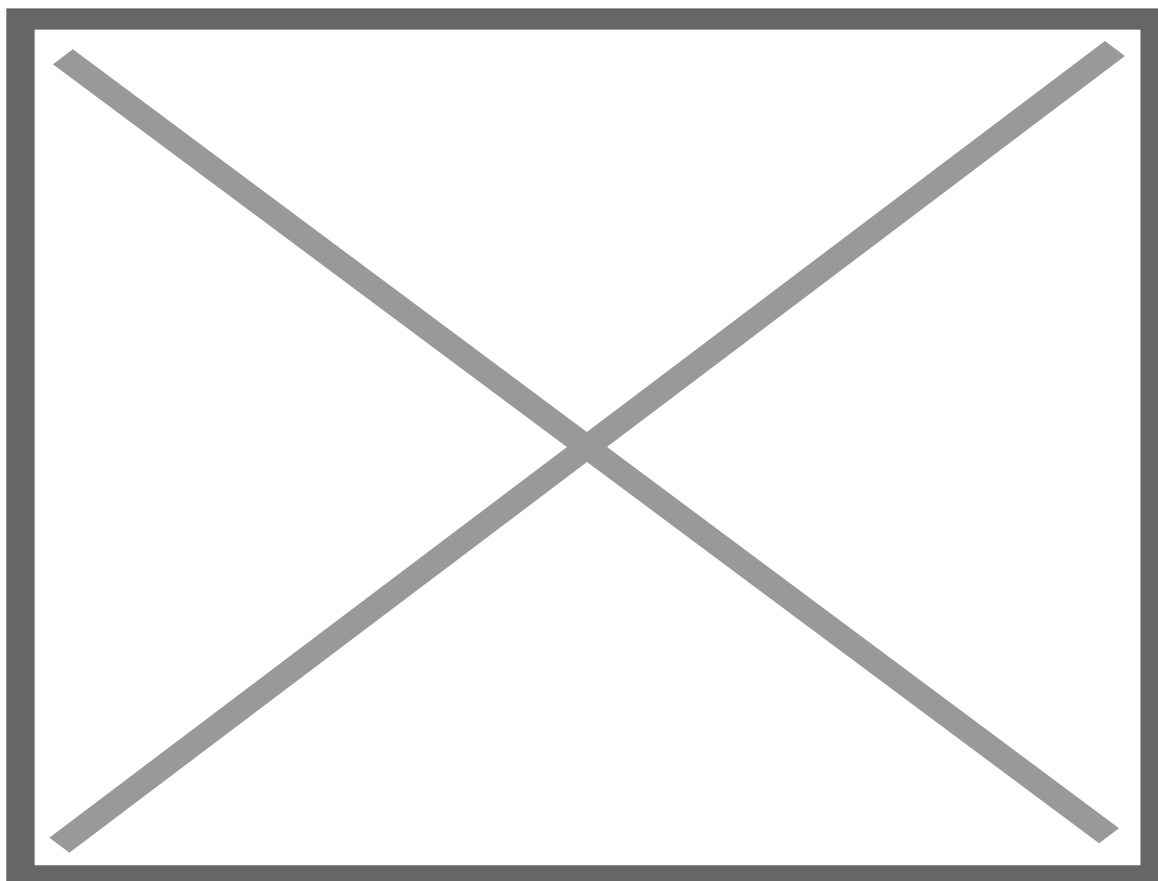


Рис.7 – Влияние различных культур на содержание подвижного Mn в чернозёме южном(в целом по профилю), мг/кг почвы

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

Выводы

1. Содержание валовых и подвижных соединений Mn в чернозёме южном соответствует их региональному уровню и не превышает ПДК, что имеет важное экологическое значение.
2. Общее содержание Mn 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.-Петерб. 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. Кириллюк 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., Berrow 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 literatury

1. Akimcev V.V., Mitlin Z.M., Smol'yaninov I.I. Pochvy i zdorov'e cheloveka. M.: Znanie, 1966. 48 s.
2. Bezuglova O.S., Hyrhyrova M.M. Pochvy Rostovskoy 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). M.: 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. Otbor prob. docs.cntd.ru/document/1200168814
8. Dobrovol'skij V.V. Osnovy biogeohimii. M.: 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 Rostovskoy 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.