

ЦИНК В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ В УСЛОВИЯХ КАМЕННОЙ СТЕПИ

*Н.С. Горбунова, к.б.н., Воронежский ГУ, Е.В. Куликова, к.б.н., Воронежский ГАУ
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, ВГУ, vilian@list.ru
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, melior-agronomy@inbox.ru*

Изучено распределение валового содержания и подвижных соединений цинка в черноземах обыкновенных при длительном применении минеральных удобрений и фосфогипса в условиях многофакторного полевого опыта в Каменной степи. Показано, что длительное применение в высоких дозах минеральных удобрений и фосфогипса приводит к загрязнению обыкновенных черноземов цинком, а также к накоплению его в производимой сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: цинк, тяжелые металлы, валовое содержание, обменные соединения, микроэлементы, Каменная степь, полевой опыт, удобрения, мелиорант, фосфогипс, тритикале, кукуруза.

DOI: 10.25680/S19948603.2018.103.17

Регулирование минерального питания растений при помощи внесения удобрений и мелиорантов требует постоянного контроля и оценки экологических последствий их применения, поскольку агрохимические средства, восполняющие элементы питания и поддерживающие почвенное плодородие, часто сами служат источниками некоторых элементов-примесей [1, 3, 9, 11]. Необходимость постоянного контроля экологического состояния почв, испытывающих длительное применение удобрений и мелиорантов, связана с высокой биологической активностью тяжелых металлов.

Zn относится к группе как тяжелых металлов, так и микроэлементов, которые в небольших концентрациях необходимы для нормального роста и развития растений. Элемент принимает активное участие в деятельности металлоферментов и активизации их комплексов, способствует повышению интенсивности фотосинтеза, влияет на синтез и гидролиз углеводов. Однако при избытке Zn происходит нарушение нормальной работы клеточного ядра и ДНК, проявляются хлороз и ослабление роста [12], в данном случае Zn выступает в качестве тяжелого металла и приоритетного загрязнителя. Известно, что с удобрениями и мелиорантами в почву поступает некоторое количество Zn, подвижные соединения которого поглощаются растениями [5, 8].

Цель работы – исследовать содержание Zn в почвах и растениях в многофакторном полевом опыте в Каменной степи (Воронежская обл., Таловский район), на опытном поле НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева.

Методика. Полевой опыт заложен методом расщепленных делянок в четырехкратной повторности. Расположение делянок – систематическое. Закладку первого фактора опыта проводили осенью 1991 г. В основу опыта положен десятипольный севооборот: 1 – горох; 2 – озимая пшеница; 3 – сахарная свекла; 4 – ячмень; 5 – кукуруза; 6 – горох; 7 – тритикале; 8 – просо; 9 – ячмень; 10 – кукуруза [9].

На каждом поле посредством внесения в запас расчетных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений были сформированы три уровня обеспеченности почв элементами минерального питания: естественный, повышенный и высокий. На естественном уровне удобрения не вносили. При создании повышенного уровня обеспеченности почвы элементами питания в почву было внесено вместе с минеральными удобрениями в запас 200 кг/га N, 300 P и 300 кг/га K, а для создания высокого уровня, соответственно, 300, 600 и 600 кг/га. На всех фонах ежегодно вносили минеральные удобрения – суперфосфат двойной гранулированный, аммиачная селитра и 40 %-ная калийная соль – в дозе N₄₀P₄₀K₄₀.

Другим фактором опыта было изучение эффективности фосфогипса на черноземе обыкновенном при разных уровнях удобренности в севообороте. В схеме два варианта: без внесения фосфогипса и с внесением мелиоранта из расчета 3 т/га 1 раз за ротацию севооборота. Фосфогипс содержит 95,5 % CaSO₄, 2 % P₂O₅. В качестве примесей в фосфогипсе присутствует и Zn (табл. 1) [9]. С минеральными удобрениями в почву также поступает незначительное количество Zn, с фосфогипсом – более заметное.

Другим фактором опыта было изучение эффективности фосфогипса на черноземе обыкновенном при разных уровнях удобренности в севообороте. В схеме два варианта: без внесения фосфогипса и с внесением мелиоранта из расчета 3 т/га 1 раз за ротацию севооборота. Фосфогипс содержит 95,5 % CaSO₄, 2 % P₂O₅. В качестве примесей в фосфогипсе присутствует и Zn (табл. 1) [9]. С минеральными удобрениями в почву также поступает незначительное количество Zn, с фосфогипсом – более заметное.

1. Поступление Zn в почву с удобрениями и фосфогипсом, г/га [9]

Удобрение	Фон	Zn
Аммиачная селитра	Повышенный	2,9
	Высокий	4,3
Двойной суперфосфат	Повышенный	2,9
	Высокий	5,8
Калийная соль	Повышенный	2,2
	Высокий	4,4
Фосфогипс		33,3

Отбор почвенных образцов проводили почвенным буром методом «конверта» с глубины 0-20, 40-50, 70-80 см. Во всех почвенных образцах определяли pH водной суспензии, гидролитическую кислотность, обменные катионы Ca²⁺ и Mg²⁺, содержание гумуса, подвижные соединения N, P, K по общепринятым методикам [2]. Валовое содержание Zn устанавливали сухим озолением почв с дальнейшей обработкой HNO₃ (1:1) и H₂O₂ (конц.) [6]. Обменные соединения определяли в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) (pH 4,8) в соотношении почва – раствор 1:10. Конечное определение элемента осуществляли на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ – Z. ЭТА. Чувствительность определения ТМ – 0,01 мкг/л, точность 10 % [13]. Zn определяли в зерне озимой тритикале – сорт Тальва 100 и

зерне кукурузы – раннеспелый гибрид РОСС 144. Определение Zn в зерне проводилось тем же методом после сухого озоления растительного материала [7]. Вариационно-статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Почва опытного участка - чернозем обыкновенный среднегумусный среднеспособный глинистый на покровной карбонатной лесовидной глине. Имеет близкую к нейтральной реакцию почвенного раствора ($pH_{\text{водн.}}$ 6,5-6,9), с глубиной она изменяется в сторону подщелачивания до $pH_{\text{водн.}}$ 7,97. В верхнем слое величина гидролитической кислотности колеблется от 0,95 до 1,45 смоль(экв)/кг почвы, постепенно уменьшаясь с глубиной. Сумма обменных катионов $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ составляет 36-37 смоль(экв)/кг почвы и с глубиной уменьшается во всех вариантах. Среднее содержание гумуса в верхнем горизонте почв 6,1 %. Вниз по профилю черноземов происходит очень постепенное снижение гумуса до 1,39 %. Обеспеченность черноземов подвижным азотом и обменным калием довольно высокая, степень обеспеченности подвижным фосфором – низкая, вниз по профилю наблюдается постепенное снижение их содержания. В целом почва опытного участка имеет благоприятные физико-химические и химические свойства.

Валовое содержание Zn в почве вариантов без внесения фосфогипса (табл. 2) на глубине 40-50 см несколько уменьшается. На глубине 70-80 см отмечается накопление Zn в среднем около 70,1 мг/кг (рис. а). Данное явление объясняется образованием нерастворимых соединений металла с карбонатами.

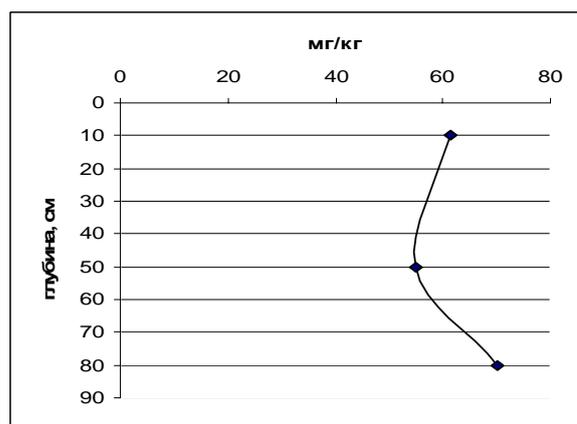
2. Валовое содержание и обменные соединения Zn (мг/кг) в черноземе обыкновенном Каменной степи (среднее за 5 лет, глубина 0-20 см)

Уровень обеспеченности почвы элементами питания	Вариант опыта	Форма соединений Zn	Zn	
			I	II
			$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	
Естественный	Контроль	Валовое содержание	61,4±1,5	75,6±1,6
		Вытяжка ААБ	0,05±0,1	0,12±0,1
	N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	Валовое содержание	60,8±1,6	76,1±1,4
		Вытяжка ААБ	0,05±0,1	0,11±0,1
Повышенный	Контроль	Валовое содержание	63,1±1,3	79,4±1,5
		Вытяжка ААБ	0,05±0,1	0,07±0,1
	N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	Валовое содержание	62,9±1,9	79,5±1,0
		Вытяжка ААБ	0,05±0,1	0,06±0,1
Высокий	Контроль	Валовое содержание	61,5±1,8	79,9±1,6
		Вытяжка ААБ	0,05±0,1	0,07±0,1
	N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	Валовое содержание	61,7±1,7	79,9±1,8
		Вытяжка ААБ	0,05±0,1	0,05±0,1
НСР ₀₅		Валовое содержание	0,90	
		Вытяжка ААБ	0,02	
«Фоновое» значение*		Валовое содержание	76,4	
		Вытяжка ААБ	0,23	
ПДК [10]		Валовое содержание	150	
		Вытяжка ААБ	23	

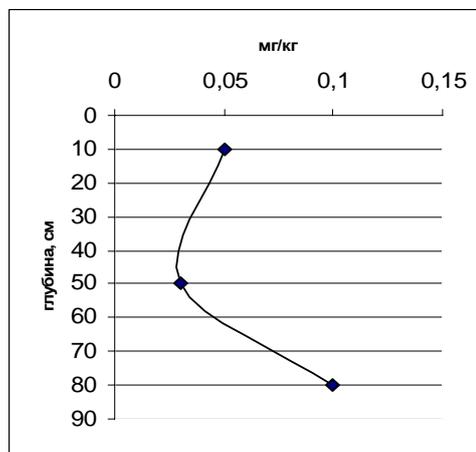
Примечание. I – вариант без фосфогипса, II – вариант с фосфогипсом, \bar{x} – среднее арифметическое, мг/кг; $s_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического; * – количество Zn (мг/кг) в обыкновенном черноземе залежи.

Длительное внесение фосфогипса достоверно увеличивает валовое содержание Zn в верхнем горизонте. С глубиной происходит постепенное выравнивание количества металла в почве вариантов с внесением мелиоранта и без него. Несмотря на высокое содержание валового Zn в черноземе обыкновенном Каменной степи, количество его обменных соединений незначительное, и большая его часть недоступна растениям.

Распределение обменного Zn по почвенному профилю чернозема обыкновенного неравномерное. Внесение фосфогипса приводит к существенному увеличению количества подвижного Zn, что связано с дополнительным поступлением Zn с мелиорантом. На повышенном и высоком фонах внесения удобрений происходит выравнивание содержания обменного Zn вследствие интенсивного потребления сельскохозяйственными культурами, как элементов минерального питания, так и исследуемого микроэлемента. На глубине 40-50 см наблюдается уменьшение содержания обменного Zn, а в слое 70-80 см прослеживается второй максимум в его накоплении до 0,11 мг/кг (рис. б). Таким образом, в почвенном профиле имеются два максимума в содержании обменного Zn – в пахотном горизонте за счет его биогенной аккумуляции и дополнительного внесения с фосфогипсом и в карбонатном, благодаря образованию цинкатов. Карбонатный горизонт в обыкновенных черноземах служит геохимическим барьером для подвижного Zn.



а



б

Рис. Распределение в черноземе обыкновенном опытного участка Zn: а – валового; б – обменного

По сравнению с «фоновыми» значениями, полученными для целинных черноземов, количество валового цинка (варианты без внесения фосфогипса) и обменного несколько меньше, что обусловлено выносом этого элемента с урожаем сельскохозяйственных культур. Валовое содержание и концентрация обменных соединений Zn в черноземе обыкновенном во всех вариантах опыта не превышают ПДК, что свидетельствует об отсутствии загрязнения чернозема обыкновенного Zn в результате длительного применения фосфогипса и минеральных удобрений. Следует отметить дефицит подвижных соединений Zn в этих почвах для всех культур, а внесение фосфогипса улучшает обеспеченность почв подвижными соединениями Zn.

Среди исследователей нет единого мнения об определении нормального содержания Zn в растениях, которое колеблется от 15,0 до 150 мг/кг сухого вещества [4, 14, 15]. Кроме того, установлены достаточно широкие пределы ПДК Zn для растений: от 150 до 300 мг/кг, а уровень фитотоксичности не более 400 мг/кг [15]. По данным [4], среднее содержание Zn в растениях 20-60 мг/кг, а ПДК=50 мг/кг. Несмотря на высокое валовое содержание Zn в черноземе обыкновенном Каменной степи, количество его обменных соединений незначительное, поэтому большая часть элемента недоступна растениям. В ходе наших исследований выявлено, что зерно тритикале и кукурузы содержит от 10 до 19 мг/кг Zn, что несколько ниже среднего содержания элемента в растениях, отмечаемого другими учеными. Низкая степень обеспеченности почвы опытного участка подвижными соединениями Zn связана с интенсивным потреблением микроэлемента сельскохозяйственными культурами и безвозвратным выносом его из почв.

Выводы. Полученные результаты исследований свидетельствуют, что средства химизации, применяемые в целесообразных дозах, не являются источником загрязнения обыкновенного чернозема и растениеводческой продукции Zn. Внесение фосфогипса приводит к небольшому увеличению валового содержания Zn в пахотном слое обыкновенного чернозема, поскольку металл входит в состав примесей используемого мелиоранта и при попадании в почву быстро закрепляется в гумусовом горизонте.

Вследствие низкой обеспеченности обыкновенного чернозема подвижными соединениями Zn возделываемые культуры характеризуются недостаточным его со-

держанием. Поэтому на черноземе обыкновенном для улучшения качества растениеводческой продукции целесообразно применять цинковые микроудобрения.

В целом можно отметить, что длительное применение высоких доз минеральных удобрений и фосфогипса не приводит к существенному изменению содержания Zn в черноземе обыкновенном и в сельскохозяйственной продукции, благодаря высокой буферности черноземов и их экологической устойчивости. Содержание этого металла в зерне кукурузы и тритикале в определенной мере отражает степень низкой обеспеченности почв его обменными соединениями.

Литература

1. Аканова, Н.И. Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия / Н.И. Аканова // Плодородие. – 2013. - №1(70). – С. 2-7.
2. Воробьева, Л.А. Химический анализ почв / Л.А. Воробьева. – М.: МГУ, 1998. – 272 с.
3. Добрыдnev, Е.П. Основные результаты исследования агроэкологической эффективности фосфогипса в земледелии Краснодарского края / Е.П. Добрыдnev, М.Ю. Локтионов // Плодородие. – 2013. - №1(70). – С. 7-9.
4. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 149 с.
5. Ковда, В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1981. – 182 с.
6. Кузнецов, А.В. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А.В. Кузнецов, А.П. Фесюн, С.Г. Самохвалов, Э.П. Махонько. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
7. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах лесхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 60 с.
8. Минеев, В.Г. Агрохимия и биосфера / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1984. – 248 с.
9. Мухина, С.В. Агрохимические и экологические аспекты применения удобрений на черноземах юго-востока ЦЧЗ / С.В. Мухина // Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – Воронеж, 2007. – 36 с.
10. Обухов, А.И. Научные основы разработки ПДК тяжелых металлов в почвах. – Тяжелые металлы в окружающей среде / А.И. Обухов. – М.: МГУ, 1980. – С. 20-28.
11. Окорков, В.В. Использование фосфогипса в земледелии / В.В. Окорков // Плодородие. – 2013. - №1(70). – С. 20-25.
12. Полевой, В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М.: Высш. шк., 1989. – 464 с.
13. Спектрометр атомно-абсорбционный КВАНТ–З.ЭТА. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ГКНЖ.0900.000Т0. – М., 1995. – 57 с.
14. Beker, D.E. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health / D.E. Beker, L. Chesnin // Advances in Agronomy. – 1975. – V. 27. – P. 306-366.
15. Verloo, M. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution / M. Verloo, A. Cottenie, G. Landschoot // Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband. – 1982. – S.–H. 39. – P. 394-403.

ZINC IN THE SYSTEM SOIL-PLANT IN CASE OF LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZERS AND MELIORANTS UNDER THE CONDITIONS OF THE KAMENNAYA STEPPE AREA

N.S. Gorbunova¹, E.V. Kulikova²

¹ Voronezh State University, Universitetskaya Sq. 1, 394018 Voronezh Russia, vilian@list.ru

² Voronezh State Agrarian University, Michurina ul. 1, 394087 Voronezh, Russia, e-mail: melior-agronomy@inbox.ru

The distribution of bulk and mobile zinc compounds in ordinary chernozems was studied under the long-term application of mineral fertilizers and phosphogypsum in a multifactorial field experiment in the Kamennaya Steppe area. As shown the prolonged application of mineral fertilizers and phosphogypsum in large doses does not lead to contamination of ordinary chernozems with zinc or to accumulation of this element in agricultural products.

Keywords: Zinc, heavy metals, bulk content, exchange compounds, microelements, Kamennaya Steppe, field experiment, fertilizers, meliorant, phosphogypsum, triticale, maize.