УДК 631.416.9

Мониторинг содержания марганца, цинка и кобальта в черноземе обыкновенном

*Жуйков Д.В.**Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

Аннотация

В работе использованы материалы локального агроэкологического мониторинга пахотных почв Белгородской области по содержанию марганца, цинка и кобальта в черноземе обыкновенном степной части Белгородской области. Содержание марганца, цинка и кобальта в пахотном горизонте было больше, чем в материнской породе, соответственно, в 1.42, 1.22 и 1.23 раза. Между валовыми содержаниями цинка и кобальта в почвенном профиле установлена сильная корреляционная связь ($r=0,77$), а связи марганца с цинком и кобальтом имели силу средней величины ($r=0,59$ и $r=0,55$).

Содержание подвижных форм изучаемых микроэлементов в черноземе обыкновенном находится на низком уровне. Основной причиной дефицита подвижных форм марганца, цинка и кобальта является их низкое фоновое содержание в целинной почве.

Ключевые слова: ЧЕРНОЗЕМ ОБЫКНОВЕННЫЙ, ВАЛОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ, СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ, МАРГАНЕЦ, ЦИНК, КОБАЛЬТ

Введение

Совокупность знаний в области минерального питания сельскохозяйственных культур говорит о необходимости применения в земледелии не только распространенных макроэлементов (азот, фосфор, калий). Получение высоких урожаев с хорошими качественными характеристиками возможно при обеспечении оптимального уровня питания сельскохозяйственных культур доступными формами микроэлементов. Микроэлементы необходимы растениям в очень малых количествах (0,01-0,001 %), однако их дисбаланс приводит к серьезным изменениям в процессе

обмена веществ [1].

Как правило, биохимические функции микроэлементов в растительных организмах связаны с участием в окислительно-восстановительных процессах, дыхании, фотосинтезе, углеводном и белковом обменах, но главная их роль заключается в активации различных ферментов. Цинк присутствует в составе более 300 ферментов, участвующих в дыхании, ускоряющих метаболизм углеводов, фосфатов, протеинов, образование гормонов роста и ДНК. Марганец участвует в деятельности витаминов и таких ферментов, как пероксидаза, инвертаза, аргиназа. Специфична роль кобальта, который входит в состав витамина В₁₂, участвующего в кроветворении, активирует ферменты белкового синтеза: аргиназа, лецитиназа, аминопептидаза [2].

При недостатке микроэлементов в растениях нарушается синтез органических веществ, задерживается образование сахарозы, нарушаются физиологические процессы, происходит задержка роста растений [3, 4]. При низких концентрациях элементов-металлов в живых организмах их относят к биогенным веществам, называя «элементами жизни», в то же время их избыточное накопление приводит к перебоям в обмене веществ – микроэлементозам, что в конечном итоге провоцирует развитие различных заболеваний [5].

При высоких концентрациях эти вещества токсичны и опасны для живых организмов. Имея атомную массу более 40 а.е.м., микроэлементы-металлы относят к группе «тяжелых металлов» [6-8]. В соответствии с санитарными правилами и нормами СанПиН 1.2.3685–21 (2021), по степени токсичности цинк относится к первому классу опасности химических веществ в почве, кобальт – ко второму, марганец – к третьему. Предельно допустимая концентрация (ПДК) валового содержания марганца установлена на уровне 1500 мг/кг почвы, подвижных концентраций марганца, цинка и кобальта, соответственно, 160, 23 и 5 мг/кг. Ориентировочная допустимая концентрация (ОДК) валового содержания цинка для почв с рН KCl > 5,5 суглинистого и глинистого гранулометрического состава составляет 220 мг/кг [9].

Для экологической оценки обеспеченности агроценозов микроэлементами важно знать не только общее их содержание в почве, но и концентрацию доступных для растений подвижных форм. В Центральном Черноземье много пахотных почв с низкой обеспеченностью подвижными формами марганца, цинка и кобальта [10-14]. Даже целинные черноземы заповедников характеризуются низкой обеспеченностью многими

микроэлементами [15]. Концентрация подвижных форм микроэлементов сильно варьирует в зависимости от почвенно-климатических и геохимических особенностей. Дефицит подвижных форм важнейших микроэлементов в пахотных почвах многих российских регионов рассматривается как одна из причин, приводящих к снижению урожайности и ухудшению качества продукции многих сельскохозяйственных культур [16, 17].

Поэтому периодическое сплошное обследование пахотных почв на содержание подвижных форм марганца, цинка, кобальта и локальный мониторинг валового содержания этих микроэлементов в почвах реперных объектов являются важным звеном государственного агроэкологического мониторинга, по результатам которого разрабатываются рациональные и экологически безопасные системы удобрения, в том числе научно обоснованные дозы применения микроудобрений [18].

Целью исследования стало изучение содержания и закономерностей распределения марганца, цинка и кобальта в черноземе обыкновенном степной зоны юго-западной части Центрально-Черноземного района (ЦЧР) России на примере Белгородской области.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились в степной зоне Белгородской области (около 25% территории региона), куда целиком вошли территории Вейделевского и Ровеньского районов, а также южные части Алексеевского и Валуйского районов. Рельеф территории исследования наиболее расчленен, доля эродированной пашни составляет 62%. Гидротермический коэффициент (ГТК) $< 0,9$. В структуре почвенного покрова преобладают черноземы обыкновенные среднемощные среднегумусные. На северных склонах реже встречаются черноземы типичные, на южных – черноземы карбонатные и остаточно-карбонатные с пятнами черноземов солонцеватых [19].

В рамках изучения закономерностей распределения элементов в почве были исследованы 23 разреза чернозема обыкновенного легкоголинистого в Среднерусской провинции степных черноземов, из которых 22 были заложены на пашне и 1 – на целине (в пределах Природного парка «Ровеньский»). Показатели содержания органического вещества почвы и значения pH_{H_2O} по генетическим горизонтам исследуемой почвы

представлены в таблице 1.

Химический состав почвенных образцов исследовался в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ «Центр агрохимической службы «Белгородский» по общепринятым отечественным методикам.

Таблица 1. Среднее содержание органического вещества и pH_{H_2O} в профиле пахотного и целинного чернозема обыкновенного

Пашня				Целина			
Генетический горизонт	Мощность горизонта, см	Органическое вещество, %	pH_{H_2O}	Генетический горизонт	Мощность горизонта, см	Органическое вещество, %	pH_{H_2O}
пахотный ($A_{пах}$)	0-25	5,2	7,8	гумусово-элювиальный (A_{Ca})	0-35	6,5	7,1
гумусово-аккумулятивный (A)	26-43	4,8	7,9				
переходный гумусовый (AB)	44-72	4,1	7,9	иллювиально-карбонатный (BCa)	36-55	2,5	6,9
иллювиально-карбонатный (BCa)	73-90	2,9	8,1				
переходный (BC_{Ca})	91-124	1,9	8,3	переходный (BC_{Ca})	55-83	1,8	7,3
материнская порода (C_{Ca})	> 125	1,6	8,3	материнская порода (C_{Ca})	>84	0,6	7,3

Валовое содержание микроэлементов в почве определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии после экстракции 5М HNO_3 в соответствии с «Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» (ЦИНАО, 1992 г.). Определение содержания подвижных форм элементов проводилось атомно-абсорбционным способом после извлечения элемента ацетатно-аммонийным буфером (ААБ) с pH 4,8 по соответствующим методикам: для марганца – ГОСТ Р 50685–94, цинка – ГОСТ Р 50686–94, кобальта – ГОСТ Р 50683-94.

Статистическая обработка результатов испытаний включала расчет максимальных и минимальных (lim) концентраций элементов, вычисление среднего значения ($\bar{x}$) выборок, расчет доверительных интервалов ($\bar{x} \pm t_{0.55} \bar{x}$) и коэффициентов вариации ($V, \%$).

Результаты и обсуждение

Наибольшие значения содержания марганца, цинка и кобальта в фоновой почве характерны для верхних гумусово-аккумулятивных горизонтов (A_{Ca}): 480, 49,9 и 8,7 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2. Содержание микроэлементов в целинном черноземе обыкновенном, мг/кг

Генетический горизонт	Мощность горизонта, см	Валовое содержание	Содержание подвижных форм
Марганец			
A_{Ca}	0-35	480	6,10
BCa	36-55	455	5,83
BC_{Ca}	55-83	426	7,77
C_{Ca}	>84	355	8,63
Цинк			
A_{Ca}	0-35	49,9	0,80
BCa	36-55	47,3	0,57
BC_{Ca}	55-83	44,2	0,42
C_{Ca}	>84	43,4	0,66
Кобальт			
A_{Ca}	0-35	8,7	0,07
BCa	36-55	8,0	0,06
BC_{Ca}	55-83	7,1	0,07
C_{Ca}	>84	6,6	0,10

С глубиной почвенного профиля общее содержание изучаемых элементов снижалось. Стоит отметить, что в сравнении с пахотным черноземом обыкновенным фоновая почва характеризовалась большим валовым содержанием только марганца и цинка. Иная ситуация с кобальтом, которого было больше в почве агроценоза.

По результатам исследований пахотных земель юго-западной части Центрального Черноземья наибольшим валовым содержанием марганца, цинка и кобальта характеризуются верхние горизонты черноземов обыкновенного – 397, 42,9 и 9,51 мг/кг, что в 1,42, 1,22 и 1,23 раза больше, чем в материнской породе (табл. 3). В результате исследования установлена тесная корреляционная связь между марганцем и содержанием органического вещества ($r=0,79$). Высокая степень ассоциации характерна для валовых содержаний кобальта с цинком ($r=0,77$). Геохимические связи марганца с кобальтом и цинком характеризовались коэффициентами корреляции средней величины ($r=0,55$ и $r=0,59$).

Таблица 3. Среднее валовое содержание микроэлементов в профиле пахотного чернозема обыкновенного, мг/кг

Генетический горизонт	Мощность горизонта, см	$\bar{x} \pm t_{05} \bar{x}$	lim	V, %
Марганец				
A _{пах}	0-25	397±17,9	311-463	10,2
A	26-43	390±16,9	315-445	9,8
AB	44-72	363±21,8	246-434	13,5
BC _{Ca}	73-90	327±19,6	238-420	13,5
BC _{Ca}	91-124	287±16,2	225-387	12,7
CC _{Ca}	> 125	279±10,3	233-327	8,3
Цинк				
A _{пах}	0-25	42,9±2,20	33,6-50,5	11,5
A	26-43	42,1±2,18	31,0-50,0	11,7
AB	44-72	40,9±2,36	25,8-48,3	13,0
BC _{Ca}	73-90	38,7±2,32	28,6-46,6	13,5
BC _{Ca}	91-124	36,2±2,47	26,4-46,6	15,4
CC _{Ca}	> 125	35,3±2,55	24,9-44,2	16,3
Кобальт				
A _{пах}	0-25	9,51±0,46	7,80-10,9	11,0
A	26-43	9,55±0,44	7,10-10,9	10,3
AB	44-72	9,37±0,52	6,60-11,5	12,6
BC _{Ca}	73-90	8,67±0,47	6,10-10,8	12,2
BC _{Ca}	91-124	8,01±0,55	6,10-10,5	15,6
CC _{Ca}	> 125	7,74±0,47	5,90-9,50	13,7

Почвы тяжёлого гранулометрического состава имеют, как правило, более высокое содержание микроэлементов. Среднее содержание физической глины в пахотных горизонтах (0–25 см) исследуемого подтипа чернозема составило 72,5%. Наличие высокодисперсных материалов, способствующих закреплению элементов, и высокий окислительно-восстановительный потенциал изучаемой почвы ввиду высокой окарбоначенности способствуют закреплению микроэлементов, переводя их в труднодоступные для растений формы [20, 21]. Стоит отметить, что в Центральном Черноземье концентрации подвижных форм изучаемых микроэлементов в пахотном слое увеличиваются в ряду: черноземы обыкновенные < черноземы типичные < черноземы выщелоченные [22].

Фоновое содержание подвижного марганца в верхнем горизонте заповедного чернозема обыкновенного составляет 6,1 мг/кг, цинка – 0,80 мг/кг, кобальта – 0,07 мг/кг, что по оценочной шкале содержания подвижных форм микроэлементов относится к группам низкой обеспеченности почв указанными элементами.

По результатам обработки полевых исследований установлено увеличение концентрации в материнской породе подвижных форм микроэлементов, извлекаемых ААБ с рН 4,8 (рис. 1).

Рис. 1. Содержание подвижных форм марганца, цинка, кобальта, извлекаемых ААБ с рН 4,8 и водной вытяжкой, в профиле пахотного чернозема обыкновенного, мг/кг

Вероятно, такое увеличение обусловлено тем, что в щелочной среде (в горизонтах BC_{Ca} и C_{Ca} $pH_{H_2O} > 8,1$) ААБ с pH 4,8 извлекает микроэлементы из состава карбонатов – по сути, недоступных для растений форм микроэлементов. К тому же в сильнощелочной среде (горизонты BC_{Ca} и C_{Ca}) подвижность элементов, обладающих амфотерными свойствами, может увеличиваться [23].

По этой причине дополнительно было определено содержание в почвенном профиле водорастворимого марганца, цинка и кобальта. Во всех случаях отмечалось снижение концентрации микроэлементов с глубиной. При этом фиксировалась обратная корреляционная связь средней силы между pH водной вытяжки и содержанием водорастворимого марганца ($r = -0,44$), цинка ($r = -0,59$) и кобальта ($r = -0,43$).

Доля марганца, извлекаемого ААБ с pH 4,8 и водной вытяжкой, от валового содержания составила в среднем по почвенному профилю пахотного чернозема обыкновенного 2,11 и 0,10%, цинка – 1,01 и 0,15%, кобальта – 1,26 и 0,05%.

Заключение

По валовому содержанию в черноземе обыкновенном микроэлементы образуют следующий убывающий ряд: марганец > цинк > кобальт. Среднее валовое содержание марганца, цинка и кобальта в пахотном горизонте превышает концентрацию этих элементов в материнской породе, соответственно, в 1.42, 1.22 и 1.23 раза.

Для концентрации подвижных форм изучаемых элементов в почве была характерна более высокая пространственная вариабельность по сравнению с валовым содержанием. Концентрация подвижных форм марганца, цинка, кобальта в горизонте $A_{пах}$ чернозема обыкновенного относительно валового количества составляет, соответственно, 2.11, 1.01 и 1.26 %, а водорастворимых форм – 0.10, 0.15 и 0.05 %.

Основной причиной дефицита подвижных форм изучаемых микроэлементов является их низкое фоновое содержание в целинной почве.

Список использованных источников

1. Минеев В.Г. Агрохимия: учебное пособие. – М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
2. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2011. – 368 с.

3. Шапошников И.Т., Дрожжин О.С., Шипилов В.В. Микроэлементы в растительных кормах Воронежской области // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2019. – № 4 (9). – С. 47-52.

4. Лисник С.С., Корецкая Ю.Л. Активность нитратредуктазы, пероксидазы и содержание пролина в листьях сахарной свеклы при избытке марганца в среде // Сборник материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых. – Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук. – 2018. – С. 466-470.

5. Карпова Е.А., Минеев В.Г. Тяжелые металлы в агроэкосистеме. – М.: Изд-во «КДУ», 2015. – 252 с.

6. Баздырев Г.И., Пронина Н.Б., Родригес Д.Р. Тяжелые металлы в системе почва-растение на склоновых землях // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2001. – Вып. 2. – С. 81-104.

7. Лукин С.В., Мирошникова Ю.В., Авраменко П.М. Мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах Белгородской области // Агрохимия. – 2002. – №8. – С. 86-91.

8. Лукин С.В. Производство экологически безопасной сельхозпродукции // АПК: Экономика, управление. – 2007. – № 5. – С. 27-29.

9. Санитарные правила и нормы: СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.01.2021 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022> (дата обращения: 15.07.2021 г.).

10. Юмашев Н.П., Трунов И.А. Почвы Тамбовской области. – Мичуринск: Изд-во Мичуринского гос. аграрного ун-та, 2006. – 216 с.

11. Прудников П.В., Карпеченко С.В., Новиков А.А., Поликарпов Н.Г. Агрохимическое и агроэкологическое состояние почв Брянской области. – Брянск: Издательство ГУП «Клинцовская городская типография», 2007. – 608 с.

12. Корчагин В.И. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв Воронежской области. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Воронеж, 2017. – 28 с.

13. Чекмарёв П.А., Лукин С.В. Динамика плодородия пахотных почв, использования удобрений и урожайности основных сельскохозяйственных культур в Центрально-Черноземных областях России // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 4. – С. 41-44.

14. Лукин С.В., Четверикова Н.С. Мониторинг плодородия пахотных почв лесостепной зоны Центрально-Черноземного района // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – №1. – С. 71-73.

15. Лукин С.В., Соловиченко В.Д. Результаты мониторинга плодородия почв государственного заповедника «Белогорье» // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – №8. – С. 15-17.

16. Поддубный А.С. Динамика агрохимического состояния пахотных почв в лесостепи Белгородской области // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 6. – С. 15-17.
17. Попов В.В. Состояние плодородия пахотных земель в юго-восточных районах Ростовской области // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 3. – С. 7-11.
18. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. – 2019. – № 9. – С. 1130-1139.
19. Соловиченко В.Д., Тютюнов С.И. Почвенный покров Белгородской области и его рациональное использование. – Белгород: Отчий край, 2013. – 372 с.
20. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants: 4th ed. Boca Raton. – London, New York: CRC Press, 2011. – 505 p.
21. Ospina-Alvarez N., Głaz N., Dmowski K., Krasnodębska-Ostręga B. Mobility of toxic elements in carbonate sediments from a mining area in Poland // Environ Chem Lett. – 2014. – Vol. 12 (3). – P. 435–441.
22. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) в чернозёмах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. – Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2003. – 368 с.
23. Мажайский Ю.А. Особенности распределения тяжелых металлов в профилях почв Рязанской области // Агрохимия. – 2003. – № 8. – С. 74-79.

Цитирование:

Жуйков Д.В. Мониторинг содержания марганца, цинка и кобальта в черноземе обыкновенном [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_416.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20214416>.