

БАЛАНС ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В ЗЕРНОТРАВЯНОПРОПАШНОМ СЕВООБОРОТЕ

Шабанова Ирина Вячеславовна, к.х.н., доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», E-mail: Shabanova_I_V@mail.ru

Зимин Александр Николаевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», E-mail: zima7407@yandex.ru

Аннотация: В статье приведена динамика изменения содержания микроэлементов в пахотном слое чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях интенсивного земледелия за период 1991-2021 гг.

Ключевые слова: микроэлементы, чернозем выщелоченный, навоз, минеральные удобрения, защита растений.

Введение. Микроэлементы необходимы для нормального роста и развития сельскохозяйственных растений, недостаточное питание ими может привести к снижению урожайности и качества продукции. Поступление марганца, цинка, меди и кобальта в растения в основном идет из почвы и с удобрениями, реже аэрозольным способом. В то же время эссенциальные элементы активно выносятся с урожаем, вымываются из пахотного слоя в результате мелиорации, эрозии почвы, наблюдается их естественная трансформация в недоступные растениям формы [1–5]. Опасность вызывает и тот факт, что накопление микроэлементов выше предельно-допустимой концентрации в почве может привести к загрязнению продукции и увеличению канцерогенного риска смерти населения, поскольку все тяжелые металлы склонны к накоплению в тканях жизненно важных органов [5].

Поэтому целью нашего исследования явилось изучение влияния различных агротехнологий на баланс микроэлементов в пахотном слое чернозема выщелоченного в рамках длительного стационарного опыта в зернотравянопропашном севообороте. Опыт был заложен в 1991 г. на опытной станции учхоза Кубань и включал изучение агротехнологий выращивания озимой пшеницы, ячменя, кукурузы, сахарной свеклы, люцерны, подсолнечника [2–3]. Опыт включал изучение влияния трех факторов – уровня плодородия за счет внесения один раз за ротацию навоза полуперепревшего КС, минеральных удобрений, защиты растений. Схема опыта: *вариант 1* – включал 200 т/га навоза, 91 кг/га НРК, биологическую защиту от вредителей и болезней; *вариант 2* – включал 400 т/га навоза, 182 кг/га НРК, химическую защиту от вредителей и болезней; *вариант 3* – включал 600 т/га навоза, 364

кг/га НРК, химическую защиту от вредителей и болезней, включая химическую прополку [1, 4-5]. Систем обработки почвы – рекомендуемая для данного региона вспашка с отвальным рыхлением на глубину пахотного слоя. Образцы почвы отбирались в 1991 г. до закладки опыта и в 2021 г. после сбора урожая в пахотном слое. Для оценки баланса содержания микроэлементов определяли накопление подвижных и кислоторастворимых форм в почве методом атомно-абсорбционного анализа. Валовое содержание анализировали на приборе волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр МАКС-G без пробоподготовки.

Результаты исследования образцов почвы на содержание цинка, меди, марганца и кобальта представлены в таблице 1 (ВФ – валовое содержание, КФ – кислоторастворимые формы, ПФ – подвижные формы).

Таблица 1. Содержание различных форм микроэлементов в пахотном слое почвы на контрольном варианте, мг/кг

Формы соединений микроэлементов	1991		2021		ПДК
	X±s _x , мг/кг	Доля от ВФ, %	X±s _x , мг/кг	Доля от ВФ, %	
Mn					
ВФ	784 ± 99	–	703 ± 38	–	3000
КФ	480 ± 77	61	550 ± 43	78	1500
ПФ	33 ± 12	4,2	91 ± 13	12,9	140
Cu					
ВФ	51 ± 20	–	77 ± 13	–	132
КФ	28 ± 1,8	55	19 ± 0,8	25	50
ПФ	5,8 ± 0,5	11,4	0,15 ± 0,01	0,2	5,0
Co					
ВФ	13 ± 1,9	–	21 ± 0,8	–	152
КФ	9,8 ± 1,1	75	9 ± 0,9	43	40
ПФ	0,2 ± 0,02	1,5	0,6 ± 0,05	3,5	5,0
Zn					
ВФ	121 ± 19	–	79 ± 3,8	–	220
КФ	44 ± 13	36	62 ± 3,1	78	50
ПФ	0,99 ± 0,08	0,8	0,5 ± 0,02	1,0	23

За 20-летний период интенсивного земледелия содержание в почве валовых форм марганца снизилось на 10 %, цинка на 33 %, кобальта и меди возросло на 50 %. Учитывая, что на контрольном варианте не применялись удобрения, то источниками кобальта и меди можно считать подпахотный слой, который нарушался при вспашке и проникновении корневой системы растений в более глубокие слои, а также антропогенные факторы, например, пыль или загрязненные осадки. Однако, следует учитывать, что за 20 лет изменился

метод анализа валового содержания тяжелых металлов в почве, снизился уровень ошибок.

Доступность растениям микроэлементов из почвы довольно низкая для всех микроэлементов. Доля подвижных форм цинка, которые способны поглощаться растениями, очень низкая и не превышает 1%. Степень подвижности кобальта возрастет с 1,5 % в 1991 г. до 3,5 % в 2021 г. Подвижность марганца в почве возросла за 20 лет в 3 раза, на фоне практически неизменного содержания валовых форм. Аномальное снижение содержания подвижных форм меди в 55 раз, на фоне возрастания валового содержания, может привести к медному голоданию растений. Согласно классификации почва опытного поля имеют высокую обеспеченность по марганцу и кобальту. И очень низкую по меди и цинку.

Образцы почвы отбирали после уборки озимой пшеницы и определяли в них содержание кислоторастворимых форм в азотнокислой вытяжке и подвижных – в ацетатно-аммонийном буфере (рН 4,8) (таблица 2).

Таблица 2. Содержание различных форм микроэлементов в пахотном слое почвы (2021 г.), мг/кг

Вариант опыта	Кислоторастворимые формы				Подвижные формы			
	Mn	Cu	Zn	Co	Mn	Cu	Zn	Co
Контроль 1991 г.	480	51	121	13	33	5,8	0,99	0,20
Контроль 2021 г.	550	19,0	62,0	9,3	91	0,15	0,51	0,60
1	492	19,8	63,8	9,2	101	0,18	0,77	0,45
2	567	20,0	63,0	9,5	125	0,17	0,98	0,69
3	582	22,2	62,2	9,1	148	0,18	0,84	0,66
НСР ₀₅	14	2,1	1,4	0,5	4,1	0,05	0,05	0,11

Применение высоких доз удобрений (вариант 3) способствует увеличению по сравнению с контролем содержания подвижных форм в почве марганца и цинка в 1,5 раза, кобальта на 10–15 %, и практически не влияет на доступность растениям меди. Содержание кислоторастворимых потенциально доступных растениям форм Cu, Zn, Co не изменяется существенно при возрастании доз минеральных удобрений и навоза и не превышает ПДК во всех вариантах опыта. Накопление кислоторастворимых форм марганца наблюдается на варианте 3 с высокими дозами удобрений 364 кг/га NPK и 600 т/га навоза за 11-польную ротацию.

Статистическая обработка данных анализа показала, что лимитирующим фактором, влияющим на накопление подвижных форм микроэлементов являются навоз и минеральные удобрения, влияние защиты растений нивелируется:

$$\begin{aligned} \text{ПФ(Cu)} &= 0,4 \cdot \text{H} - 0,2 \cdot \text{У} - 0,9 \cdot \text{З} - 0,64; \\ \text{ПФ(Co)} &= -0,4 \cdot \text{H} - 0,3 \cdot \text{У} - 0,04 \cdot \text{З} - 2,8; \end{aligned}$$

$$\text{ПФ(Mn)} = 7,1 \cdot \text{H} - 5,1 \cdot \text{У} - 0,75 \cdot \text{З} - 106;$$

$$\text{ПФ(Zn)} = 5,2 \cdot \text{H} - 2,3 \cdot \text{У} - 0,97 \cdot \text{З} - 0,28,$$

где – Н – навоз;

У – удобрения;

З – защита растений.

Таким образом, применение удобрений не оказывает влияния на накопление кислоторастворимых форм микроэлементов в почве. Однако, повышенные дозы минеральных удобрений и навоза увеличивают доступность микроэлементов растениям. Наблюдается дефицит микроэлементного питания растений из почвы по цинку и меди, степень подвижности этих элементов питания в почве не превышает 1 %. За период 1991-2021 гг. на контрольном варианте без применения удобрений содержание валовых форм марганца и цинка снизилось на 10 – 30 % за счет выноса с урожаем, а кобальта и меди возросло на 50 %, что свидетельствует об антропогенном источнике этих элементов в почве компенсирующем их вынос.

Библиографический список

1. Влияние природных и антропогенных факторов на физико-химические свойства чернозема выщелоченного и его загрязнение тяжелыми металлами / А. Х. Шеуджен, Н. Н. Нецадим, Н. Г. Гайдукова, И. В. Шабанова // *Агрохимия*. – 2019. – № 1. – С. 19–28.
2. Влияние различных технологий возделывания сахарной свеклы на содержание цинка, свинца и кадмия в почве и корнеплодах свеклы / С. В. Гарькуша, Н. Г. Гайдукова, И. В. Шабанова, Н. А. Кошеленко // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. – 2012. – № 36. – С. 125–129.
3. Эколого-агрономическая оценка действия химических средств земледелия на урожай и качество зерна озимой пшеницы / А. В. Загорулько, Н. Г. Гайдукова, И. В. Шабанова, А. С. Скоробогатова // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 131. – С. 1405–1424.
4. Гайдукова, Н. Г., Биогеохимическая оценка обеспеченности чернозема выщелоченного эссенциальными микроэлементами // Н. Г. Гайдукова, И. В. Шабанова, И. И. Сидорова // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 69. – С. 129–135.
5. Биогенные и токсичные тяжелые металлы в агроценозе Кубани при интенсификации земледелия / А. В. Загорулько, И. В. Шабанова, Н. Н. Нецадим, Н. Г. Гайдукова // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 74. – С. 58–64.

The balance of essential trace elements in the leached chernozem in the grain-grass crop rotatio

Shabanova I. V., Candidate of Chemical Sciences,

Zimin A. N., postgraduate student

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

350044, Russia, Krasnodar, Kalinin str., 13

Abstract: *The article presents the dynamics of changes in the content of trace elements in the arable layer of leached chernozem of the Western Pre-Caucasus in conditions of intensive agriculture for the period 1991-2021.*

Keywords: *trace elements, leached chernozem, manure, mineral fertilizers, plant protection*