

DOI 10.31029/vestdnc92/4

УДК 630*182.47/.48:631.416.9(571.51)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В АГРОЦЕНОЗАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

А. Е. Побилат¹, ORCID: 0009-0002-7499-0898

А. А. Киричук¹, ORCID: 0000-0001-5125-5116

А. И. Байтелова², ORCID: 0000-0003-0760-6550

В. А. Солопова², ORCID: 0000-0002-7407-2301

Т. И. Бурцева², ORCID: 0000-0001-7415-4545

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

²Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ENVIRONMENTAL FEATURES OF TRACE ELEMENTS CONTENT IN AGROCENOSES OF THE KRASNOYARSK DISTRICT

A. E. Pobilat¹, ORCID: 0009-0002-7499-0898

A. A. Kirichuk¹, ORCID: 0000-0001-5125-5116

A. I. Baitelova², ORCID: 0000-0003-0760-6550

V. A. Solopova², ORCID: 0000-0002-7407-2301

T. I. Burtseva², ORCID: 0000-0001-7415-4545

¹'Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

²Orenburg State University, Orenburg, Russia

Аннотация. Содержание микроэлементов в почвах – важный показатель их плодородия. Валовое содержание различных микроэлементов в той или иной местности может варьироваться из-за количества вносимых удобрений, характера антропогенной деятельности человека, кислотности почв и флоры рассматриваемой местности. Отличительной особенностью почв земледельческой части Красноярского края является понижение валового содержания микроэлементов в 1,1–11,5 раза по сравнению с аналогичными типами почв сельхозугодий в Центральном Черноземье и Западной Сибири. Выявлены основные факторы, влияющие на концентрацию подвижных форм микроэлементов, начиная с гумусированности почв и гранулометрического состава и заканчивая видовыми и сортовыми особенностями растений и технологиями их выращивания. В почвах региона отмечено пониженное содержание подвижных форм цинка, марганца, меди и кобальта. Содержание микроэлементов в растениях определяется генетическими особенностями и экологическими условиями выращивания, климатом, свойствами почв, подвижностью самих элементов. Существует необходимость проведения анализа почв для коррекции доз вносимых удобрений с целью лучшего роста и развития растений. Особенности содержания микроэлементов в системе «почва – растение» обеспечивают получение в земледелии края экологически безопасной растениеводческой продукции. Для улучшения микроэлементного состава урожая сельскохозяйственных культур необходима оптимизация их питания за счет комплексного применения органических и микроудобрений.

Abstract. The content of trace elements in soils is an important indicator of their fertility. However, the gross content of various trace elements in a particular area may vary due to the amount of fertilizers added, the nature of human anthropogenic activity, the acidity of the soils and the flora of the area. The distinctive feature of the soils of the agricultural part of the Krasnoyarsk district is a decrease in the gross content of trace elements by 1,1–11,5 times compared to the similar types of the farmland soils in the Central Black Earth Region and Western Siberia. The main factors affecting the concentration of mobile forms of trace elements are identified, starting with the humusness of soils and grain size distribution, ending with the species and varietal features of plants and technologies for their cultivation. In the soils of the region, a reduced content of mobile forms of zinc, manganese, copper and cobalt are noted. The content of trace elements in plants has been determined by genetic features and ecological conditions of cultivation, climate, soil properties, mobility of the elements themselves. There is a need for soil analysis to adjust doses of fertilizers to improve plant growth and development. At the same time peculiarities of the content of trace elements in the system "soil – plant" ensure the reception of ecologically safe crop production in agriculture of the region. To improve the microelement composition of the crop, it is necessary to optimize their nutrition through the integrated use of organic and micro-fertilizers.

Ключевые слова: микроэлементы, содержание, формы, почва, плодородие, растения, удобрения, качество продукции.

Keywords: trace elements, content, forms, soil, fertility, plants, fertilizers, product quality.

Введение

Почва является главным источником минерального питания растений микроэлементами. От содержания микроэлементов в почве зависят уровень ее плодородия, урожайность сельскохозяйственных культур, качественные показатели растительной продукции, безопасность пищевых продуктов и состояние здоровья человека. В природных условиях биогеохимические и экологические особенности содержания, распределения, подвижности микроэлементов в структуре почвенного покрова в значительной степени изменяются в зависимости от интенсивности почвообразовательного процесса, свойств почв, климата, вида растительности и антропогенной нагрузки на экосистему. В почвах агроценозов с недостаточным или избыточным содержанием микроэлементов происходит уменьшение продуктивности культур, ухудшение их микроэлементного состава и наблюдаются эндемические заболевания человека [1]. В регионах с высокой техногенной нагрузкой на экосистему, к которым относится значительная часть Красноярского края, возникает необходимость в комплексном изучении закономерностей содержания микроэлементов в системе «почва – растение», разработка и внедрение практических мероприятий по улучшению экологического состояния сельскохозяйственных земель и уменьшению их токсичности.

Цель исследования – оценка особенностей содержания микроэлементов в почвах и культурных растениях Красноярского края для улучшения качества и безопасности сельскохозяйственной продукции.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили в лесостепной и подтаежной зонах края на землях сельскохозяйственного назначения. При обобщении материалов почвенно-экологического мониторинга дополнительно использовали данные Красноярского государственного аграрного университета и региональной агрохимической службы. Объектами исследования были черноземы, серые лесные и пойменные почвы, которые являются преобладающими в структуре почвенного покрова сельхозугодий. Почвенные образцы для определения содержания микроэлементов отбирали в соответствии с нормативной документацией [2]. Растительные образцы отбирали во время уборки урожая сельскохозяйственных культур на реперных участках локального мониторинга. Определение содержания микроэлементов в почвах и растениях проводили атомно-абсорбционным методом.

Результаты и обсуждение

В южной сельскохозяйственной части Красноярского края можно выделить различные природно-географические зоны, такие как Ачинско-Боготольская, Канская, Красноярская, Минусинская, Назаровская, Чулымо-Енисейская лесостепь и подтаежная зона, отличающиеся разнообразием климатических условий, растительности и почвенных характеристик. На структуру почвенного покрова в этих природных зонах оказывает большое влияние неодинаковость географических и геохимических условий формирования. В земледелии содержание микроэлементов в почвах является одним из основных показателей их потенциального и эффективного плодородия. Плотность и текстура почвы, кислотность, содержание гумуса, минеральных компонентов, фосфора, азота, калия, железа, марганца, цинка, бора и других микроэлементов – все это влияет на доступность и уровень питательных веществ для растений. Например, низкая кислотность почвы может привести к фиксации микроэлементов, делая их недоступными для растений. Недостаточное содержание железа или марганца может привести к хлорозу или другим заболеваниям растений. А избыток некоторых микроэлементов, таких как цинк или бор, может быть токсичным для растений. Поэтому для обеспечения здорового роста растений необходимо проводить анализ почвы и, если нужна корректировка, вносить удобрения для компенсации недостатка или избытка микроэлементов. Это позволит улучшить урожайность и качество продукции, а также сохранить здоровье почвы на длительный срок. Валовое содержание микроэлементов в почвах сельскохозяйственных угодий края характеризуется значительным разнообразием (табл. 1). В таблице приведены

ларковые числа элементов [3], показатели ПДК, ОДК [4, 5], данные по содержанию микроэлементов в почвах Западной Сибири [6, 7], Центрального Черноземья [8, 9].

Таблица 1. Сравнительная характеристика среднего валового содержания микроэлементов в 0–20 см слое почв сельскохозяйственных угодий Западной Сибири, Центрального Черноземья и Красноярского края, мг/кг

Микроэлементы	Кларк	ПДК (ОДК)	Западная Сибирь	Центральное Черноземье	Красноярский край
Медь	20,0	132,0	25,0	24,0	18,2
Цинк	50,0	220,0	64,0	66,0	52,3
Марганец	850,0	1500,0	666,7	700,0	463,6
Кобальт	8,0	–	10,0	12,0	9,3
Ртуть	0,01	2,1	0,2–0,3	0,15	0,026
Кадмий	0,5	2,0	0,15–0,21	0,25	0,12
Хром	200,0	100,0	56,0	87,0	22,4
Никель	40,0	80,0	35,0	38,0	25,6
Свинец	20,0	130,0	14,0	19,4	11,4

Почвы Центрального Черноземья содержат в 1,2–5,7 раза и Западной Сибири в 1,1–11,5 раза больше микроэлементов, чем их аналоги в Красноярском крае. Провинциальной особенностью почв региона является пониженное содержание валовой формы микроэлементов. Такая закономерность связана со своеобразными почвенно-климатическими условиями образования почв.

В лесостепной и подтаежной зонах края колебания между максимальным и минимальным содержанием микроэлементов в почвах составляют от 1,2 до 5,8 раз. Больше всего меди, ртути, хрома, никеля, свинца, кобальта, кадмия содержится в почвах Назаровской лесостепи, сформированных на углесодержащих почвообразующих породах. Повышенным содержанием марганца и цинка характеризуются почвы подтаежной зоны. Наименьшее, в 1,1–4,3 раза, количество валовой формы микроэлементов наблюдается в почвах Минусинской лесостепи [10].

Подвижные формы микроэлементов в почве включают в себя ионы водорастворимых соединений (например, сульфаты, нитраты), комплексные соединения с органическими веществами и ионы, ассоциированные с коллоидами. Эти формы микроэлементов являются доступными растениям для поглощения. Микроэлементы играют важную роль в росте и развитии растений, так как они участвуют в регуляции метаболизма, фотосинтезе, образовании хлорофилла и других биологических процессах. Агротехнический анализ помогает определить текущие уровни микроэлементов и рекомендовать необходимые меры по внесению микроудобрений в случае их дефицита. Разные микроэлементы могут лучше всасываться растениями при определенном уровне pH, поэтому его контроль также важен для оптимальной урожайности и здоровья растений. Умеренное применение органических удобрений также способствует улучшению содержания микроэлементов в почве. Однако зависимость содержания подвижных форм микроэлементов в зональных почвах от их свойств имеет неодинаковый характер. Почвы земледельческой части края характеризуются высокой комплексностью, которая составляет от 30 до 40 %. Содержание микроэлементов в пределах природной зоны может различаться в несколько раз. Выявлены основные факторы, влияющие на концентрацию микроэлементов в почвах лесостепной и подтаежной зон края: гумусированность, реакция среды, гранулометрический состав, валовое содержание, вид растительности и уровень химизации земледелия.

Были впервые исследованы почвы в хозяйствах с интенсивным применением минеральных и органических удобрений и выявлено более высокое содержание микроэлементов, хотя в среднем по краю вносимые дозы удобрений не компенсируют вынос микроэлементов с урожаями культур. В земледелии региона отмечается отрицательный баланс микроэлементов [11]. Исследования показали, что черноземы обладают более высоким содержанием подвижных форм таких микроэлементов, как медь, цинк, марганец, кобальт и никель (табл. 2).

Таблица 2. Среднее содержание подвижных форм микроэлементов в почвах сельскохозяйственных угодий Красноярского края, мг/кг

Микроэлементы	ПДК	Черноземы	Серые лесные	Пойменные
Медь	3,0	1,5	1,2	1,0
Цинк	23,0	1,8	1,4	0,9
Марганец	100,0	15,7	11,5	12,3
Кобальт	5,0	1,4	1,2	0,9
Ртуть	–	0,026	0,027	0,025
Кадмий	–	0,03	0,04	0,03
Хром	6,0	0,19	0,20	0,20
Никель	4,0	1,4	1,3	1,3
Свинец	6,0	0,25	0,30	0,20

Эти элементы являются важными для роста растений и здоровья почвы. Например, медь и цинк необходимы для нормального развития растений, участвуют в множестве физиологических процессов, включая фотосинтез и обмен веществ. Марганец играет ключевую роль в процессе фотосинтеза и активации различных ферментов, а кобальт необходим для синтеза витамина В12, который важен для многих жизненно важных функций живых организмов.

В то же время по концентрации ртути, кадмия, хрома, никеля, свинца исследуемые почвы практически не отличаются. Результаты почвенно-экологического мониторинга свидетельствуют о недостаточной обеспеченности почв агроценозов подвижными формами цинка, марганца, меди и кобальта.

На обследованной территории в почвах не обнаружено высоких концентраций микроэлементов, превышающих санитарные нормы, поэтому почвы края являются экологически безопасными для производства растениеводческой продукции.

Микроэлементный состав растений определяется их генетическими особенностями и экологическими условиями выращивания в природной среде. Оптимальное сочетание погодных условий, свойств почвы и доступности микроэлементов является ключевым для обеспечения хорошего качества урожая сельскохозяйственных культур в агроценозах. Влияние на содержание микроэлементов в растениях также оказывают различные биологические особенности конкретных культур и их сортов. Разнообразие в генетической структуре растений может влиять на их способность к поглощению и накоплению определенных микроэлементов из почвы. Кроме того, применение сбалансированных удобрений может способствовать оптимальному содержанию микроэлементов в почве и, следовательно, в растениях. Полученные данные показывают, что содержание микроэлементов в сельскохозяйственных растениях в лесостепной и подтаежной зонах края подвержено значительным колебаниям (табл. 3).

Таблица 3. Среднее содержание микроэлементов в урожае сельскохозяйственных культур в Красноярском крае, мг/кг

Микроэлементы	Зерновые	Овощные	Кормовые	Среднее
Медь	3,0	2,8	5,7	3,8 ± 0,93
Цинк	23,5	10,8	20,2	18,2 ± 7,4
Марганец	20,2	11,6	45,8	25,8 ± 20
Кобальт	0,12	0,12	0,96	0,41 ± 0,54
Ртуть	0,0015	0,0010	0,0026	0,0017 ± 0,0009
Кадмий	0,020	0,010	0,049	0,026 ± 0,002
Хром	0,18	0,11	0,33	0,21 ± 0,127
Никель	1,1	0,47	0,75	0,77 ± 0,35
Свинец	0,26	0,11	0,29	0,22 ± 0,1

Примечание: ПДК (мг/кг) в зерне: свинец – 0,5, кадмий – 0,1, ртуть – 0,03; овощах: свинец – 0,5, кадмий – 0,03, ртуть – 0,02 (3); кормах: ртуть – 0,05, кадмий – 0,3, свинец – 5,0, медь – 30,0, цинк – 50,0, никель – 3,0, хром – 0,5, кобальт – 1,0 [12].

Кормовые культуры (кукуруза на силос, многолетние, однолетние травы), как правило, имеют более интенсивный рост и развитие, и соответственно, содержат большее количество микроэлементов для обеспечения процессов обмена веществ и фотосинтеза, чем зерновые (пшеница, яровой ячмень и овес). Исключение составляют лишь цинк и никель. Овощные культуры (столовые морковь, свекла) по концентрации микроэлементов занимают промежуточное положение. Пониженное содержание микроэлементов в сельскохозяйственных растениях Красноярского края, в сравнении с аналогами в других регионах страны, может быть обусловлено различными факторами, включая особенности почвенного состава, климатические условия и специфику сельскохозяйственной практики в этом регионе [6]. Пониженное содержание микроэлементов в растениях Красноярского края частично обусловлено составом местных почв, который играет ключевую роль в доступности микроэлементов для растений. Такие факторы, как высокое содержание гумуса и нейтральная реакция почвы, снижают подвижность и доступность микроэлементов для сельскохозяйственных растений.

Выращенная в земледельческой части края растениеводческая продукция соответствует гигиеническим нормативам и является экологически безопасной по содержанию микроэлементов. Для улучшения микроэлементного состава растительной продукции в агроценозах необходима оптимизация питания полевых культур за счет сбалансированного применения микро- и органических удобрений.

Заключение

В урожае зерновых, овощных и кормовых культур Красноярского края отмечается дефицитное содержание большинства микроэлементов. Недостаточное содержание микроэлементов в сельскохозяйственных культурах обусловлено несколькими факторами. Во-первых, разнообразие условий почвообразования в регионе приводит к различиям в содержании микроэлементов в почвах. Во-вторых, высокая гумусированность почв и их нейтральная реакция среды могут уменьшать подвижность и доступность микроэлементов для растений. Кроме того, различия в уровне химизации земледелия и неправильное применение удобрений также влияют на содержание микроэлементов в почвах и, следовательно, на их доступность для растений. Для решения этой проблемы необходимо применение специализированных агротехнических методов, таких как подбор удобрений с учетом почвенного состава, при этом данные о содержании микроэлементов в системе «почва – растение» становятся рычагом управления процессом получения экологически безопасной продукции в земледелии края. Для повышения продуктивности растений и улучшения их микроэлементного состава необходимо комплексное применение удобрений, содержащих, например, микроэлементы цинка, марганца, меди и кобальта в районе Минусинской лесостепной зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней : в 4 т. Т. 3: Атомовитозы. М.: Гелиос АРВ, 2002. 670 с.
2. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. М., ФБГУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
3. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 259 с.
4. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве : Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
5. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 11 с.
6. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
7. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / отв. ред. И.М. Гаджиев; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск, 2007. 277 с.

8. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Ga, Be, Ba, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: ВГУ, 2003. 368 с.

9. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья // Почвоведение. 2004. № 1. С. 50–59.

10. Сергеев А.П., Липатникова Т.Я., Волошин Е.И. Микроэлементы в почвах Минусинской лесостепи Красноярского края // Агрехимический вестник. 2017. № S2. С. 48–50.

11. Волошин Е.И. Содержание и распределение микроэлементов в почвах Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2008. № 4. С. 28–37.

12. Временный максимально допустимый уровень (ВМДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М., 1987. 5 с.

Поступила в редакцию 03.03.2024 г.

Принята к печати 28.03.2024 г.

* * *

Побилат Анна Евгеньевна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник кафедры медицинской элементологии, медицинский институт, Российский университет дружбы народов; 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; e-mail: apobilat@mail.ru

Anna E. Pobilat, Candidate of Medical Sciences, senior researcher of the Department of Medical Elementology, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia; 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198; e-mail: apobilat@mail.ru

Киричук Анатолий Александрович, доктор биологических наук, руководитель департамента экологии человека и биоэлементологии, Российский университет дружбы народов; 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; e-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

Anatoly A. Kirichuk, Doctor of Biology, head of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Peoples' Friendship University of Russia; 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198; e-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

Байтелова Алина Ивановна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, доцент; Оренбургский государственный университет; 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13; e-mail: baitelova@outlook.com

Alina I. Baitelova, Candidate of Technical Sciences, head of the Department of Life Safety, Associate Professor of the Department of Life Safety, associate; Orenburg State University; 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018; e-mail: baitelova@outlook.com

Солопова Валентина Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Оренбургский государственный университет; 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13; e-mail: solopova.valentina@mail.ru

Valentina A. Solopova, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Life Safety, associate professor, Orenburg State University; 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018; e-mail: solopova.valentina@mail.ru

Бурцева Татьяна Ивановна, доктор биологических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Оренбургский государственный университет; 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13; e-mail: burtat@yandex.ru

Tatyana I. Burtseva, Doctor of Biology, professor, Department of Life Safety, Orenburg State University; 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018; e-mail: burtat@yandex.ru