УДК 631.81, 631.452 DOI: 10.25680/S19948603.2025.145.01

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОЗЁМАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

В.Г. Сычев[1], ак. РАН, Ю.И. Гречишкина[2], д.с.-х.н., А.В. Матвиенко[3]
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», 127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31, ainfo@vniia-pr.ru
[2]ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, lnwg@mail.ru
[3]Ставропольский филиал ФГБУ «Агрохимическая служба России», 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 65, stavhim@mail.ru

Представлены результаты многолетнего (1965–2025 г.) мониторинга содержания микроэлементов (бор, марганец, медь, цинк, кобальт) в чернозёмных почвах Центрального Предкавказья. Исследования охватывают четыре подтипа чернозёмов: обыкновенный, типичный, южный и выщелоченный. Основное внимание уделено анализу подвижных форм микроэлементов, их динамике и влиянию на плодородие почв. Установлено, что подавляющая часть обследованных площадей (99,23%) характеризуется высоким содержанием бора, при этом отмечается тенденция к его увеличению. В то же время выявлен дефицит подвижных форм марганца, меди, цинка и кобальта, что ограничивает продуктивность сельскохозяйственных культур. Результаты исследования подчёркивают необходимость дифференцированного подхода к применению микроудобрений: исключение борных удобрений (из-за их избытка) и внесение препаратов, содержащих марганец, медь, цинк и кобальт. Работа имеет практическую значимость для оптимизации агрохимической политики в регионе и повышения урожайности культур.

Ключевые слова: плодородие почвы, чернозём, микроэлементы, бор, марганец, медь, цинк, кобальт.

Для цитирования: *Сычев В.Г., Гречишкина Ю.И., Матвиенко А.В.* Мониторинг содержания микроэлементов в чернозёмах Центрального Предкавказья//Плодородие. – 2025. – №4. – С. 5-7. DOI: 10.25680/S19948603.2025.145.01.

Микроэлементы, несмотря на крайне низкое содержание в почвах и растительных организмах, представляют особый научный интерес. Полагаем, что обеспеченность сельскохозяйственных культур данными элементами питания в условиях чернозёмных почв Центрального Предкавказья по своей значимости можно расположить после климатических условий [8] и низкого содержания подвижного фосфора [7].

Многочисленные исследования подтверждают существование прямой корреляции между содержанием микроэлементов в почвообразующих породах и их концентрацией в сформированных почвах. От гранулометрического состава пород во многом зависят исходный запас микроэлементов, особенности их распределения и потенциальная доступность для растений [3].

Содержание микроэлементов в биоценозах не только важно для отрасли растениеводства, но и играет существенную роль в продуктивности животноводства. Оптимальная обеспеченность микроэлементами – залог здоровья и долголетия крупного рогатого скота [5], т.е. данный фактор следует также учитывать в планах по увеличению поголовья скота на территории Ставропольского края.

Мониторинг микроэлементов в почве важен по ряду причин. Их дефицит может быть обусловлен как естественными почвенными условиями, так и антропогенным фактором. Например, плохо сбалансированная система удобрения и защиты растений способна приводить к вымыванию или блокированию микроэлементов в почве. На этом фоне важно применять микроудобрения для восполнения данного баланса [4].

Получение стабильно высоких и качественных урожаев сельскохозяйственных культур требует обеспечения оптимального уровня доступных растениям микроэлементов в почве. В условиях интенсивного земледелия эффективное использование почвенных ресурсов должно основываться на комплексных данных о текущем состоянии почвенного плодородия [6].

В рамках проведённой работы выполнен анализ микроэлементов, классифицированных по их биологической значимости: важных – марганец, медь, цинк и кобальт, а также условно важных – к ним отнесён бор [9].

Цель исследования – отследить динамику содержания подвижных форм микроэлементов в чернозёмных почвах Центрального Предкавказья.

Задачи исследования: проанализировать данные почв, полученные в ходе государственного мониторинга плодородия, выполненного Ставропольским филиалом ФГБУ «Агрохимическая служба России». Дать оценку динамике содержания в пахотном слое почвы (0-20 см) подвижных форм бора, марганца, меди, цинка и кобальта.

Методика. В качестве объекта исследований выступает чернозём: обыкновенный, типичный, южный, выщелоченный.

Мониторинг содержания микроэлементов в почве выполнен в соответствии с Методическими указаниями по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения (2003).

Лабораторный анализ почвенных образцов проведен в соответствии со следующими нормативами:

• содержание бора – по ГОСТ Р 50688-94 (Подвижный бор в почвах по Бергеру и Труогу в модификации ЦИНАО);

• содержание марганца – по ОСТ 10148-88 (Определение подвижного марганца в почвах по Крупскому и Александровой в модификации ЦИНАО);

• содержание меди – по ГОСТ Р 50683-94 (Подвижная медь в почвах по Крупскому и Александровой в модификации ЦИНАО);

• содержание цинка – по ГОСТ Р 50686-94 (Подвижный цинк в почвах по Крупскому и Александровой в модификации ЦИНАО);

• содержание кобальта по ОСТ 10149-88 (Определение подвижного кобальта в почвах по Крупскому и Александровой в модификации ЦИНАО).

Результаты и их обсуждение. В исследованиях были использованы как архивные данные по мониторингу микроэлементов в чернозёмных почвах, так и самые актуальные данные на начало 2025 г.

В таблице 1 приведено валовое содержание микроэлементов в чернозёмных почвах Центрального Предкавказья. Однако их доступность существенно ограничена региональными особенностями данных почв, среди которых основными лимитирующими факторами являются высокая щёлочность почвенной среды и повышенная карбонатность.

1. Содержание валовых форм микроэлементов в пахотном слое чернозёмных почв Центрального Предкавказья (в среднем за 2000-2025 г.), мг/кг почвы

Чернозем	Бор	Марганец	Медь	Цинк	Кобальт
Обыкновенный	85	385	16,0	38,3	5,6
Типичный	120	274	16,8	36,2	4,8
Южный	92	327	14,5	35,2	5,0
Выщелоченный	100	240	10,0	26,8	5,1

Данный тезис можно подтвердить полученным соотношением валовых и подвижных (табл. 2) форм микроэлементов. Так валовые формы бора превосходят средние подвижные его формы в 33-43 раза, марганца – в 15-28 раз, меди – в 45-84 раза, цинка – в 45-90 раз, кобальта – в 64-112 раз. Это означает, что среди исследованных подтипов почв максимальным содержанием валовых форм бора и меди отличается чернозём типичный. В свою очередь чернозём обыкновенный занял лидирующую роль по валовым запасам марганца, цинка и кобальта.

2. Динамика подвижных форм микроэлементов в чернозёмных почвах Центрального Предкавказья (пахотный слой), мг/кг почвы

Чернозем	Микроэлемент	Годы													
		1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	Среднее
Обыкновенный	B	-	-	-	2,3	3,0	3,0	2,1	1,6	-	2,9	2,9	2,6	2,9	**2,6**
	Mn	-	-	-	18,0	18,0	18,0	10,0	9,0	-	-	21,0	8,5	8,0	**13,8**
	Cu	-	-	-	0,27	0,13	0,21	0,13	0,23	-	-	0,22	0,16	0,16	**0,19**
	Zn	-	-	-	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	-	-	0,7	0,5	0,5	**0,4**
	Co	-	-	-	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-	0,04	0,05	0,05	**0,05**
Типичный	B	2,8	3,0	2,9	2,3	2,2	2,0	2,4	2,8	2,0	2,9	3,1	3,7	4,1	**2,8**
	Mn	30,0	15,0	14,0	12,0	12,0	13,0	12,0	10,0	19,0	21,0	25,0	17,6	9,6	**16,2**
	Cu	0,17	0,23	0,28	0,32	0,30	0,31	0,34	0,10	0,12	0,22	0,22	0,16	0,24	**0,23**
	Zn	1,5	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,2	0,4	0,5	0,8	0,7	0,5	0,8	**0,6**
	Co	0,05	0,11	0,10	0,07	0,10	0,10	0,08	0,04	0,04	0,04	0,07	0,05	0,07	**0,07**
Южный	B	-	-	2,0	2,1	2,1	2,1	2,5	2,1	2,1	2,3	2,3	2,1	2,2	**2,2**
	Mn	-	-	17,0	20,0	18,0	18,0	12,0	10,0	14,0	19,0	19,1	6,9	7,0	**14,6**
	Cu	-	-	0,21	0,23	0,18	0,25	0,26	0,18	0,18	0,19	0,20	0,16	0,15	**0,20**
	Zn	-	-	0,7	0,6	0,5	0,6	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	**0,5**
	Co	-	-	-	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-	0,10	0,05	0,05	**0,06**
Выщелоченный	B	-	-	2,1	2,0	1,9	2,1	2,4	2,1	2,2	2,3	2,5	3,1	3,2	**2,4**
	Mn	-	-	16,5	18,3	17,2	17,3	14,5	13,7	14,0	19,0	9,3	19,6	17,8	**16,1**
	Cu	-	-	0,29	0,21	0,14	0,21	0,26	0,18	0,18	0,19	0,18	0,24	0,31	**0,22**
	Zn	-	-	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,9	1,1	**0,6**
	Co	-	-	-	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,09	0,10	0,13	0,07	0,07	**0,08**

Обследованные пахотные площади чернозёмов Центрального Предкавказья хорошо обеспечены подвижными формами бора, среднее за период наблюдений содержание которых варьирует от 2,2 мг/кг на чернозёме южном до 2,8 мг/кг на чернозёме типичном. Это единственный микроэлемент, находящийся в избытке. Данные мониторинга выявили, что на некоторых участках наблюдается избыточное содержание бора. Это негативно отражается на физиологическом состоянии культур и конечной урожайности, что может свидетельствовать о борном засолении почвы.

Подвижные формы марганца в пахотном слое чернозёмных почв Центрального Предкавказья соответствуют средней обеспеченности данным элементом питания растений. Эти формы составляют 2,0-10% от общего валового объёма.

Среднее содержание подвижной меди в чернозёмах обыкновенном и южном соответствует низкой обеспеченности, в то время как чернозёмы типичный и выщелоченный средне обеспечены данным элементом.

Среднее содержание подвижного цинка в чернозёмах Центрального Предкавказья низкое и составляет порядка 1% от валового содержания. Аналогично цинку ведет себя и кобальт.

Содержание микроэлементов в чернозёмах Центрального Предкавказья определило закономерное зонирование территории по уровням обеспеченности почв данными элементами (табл. 3).

Результаты мониторинга свидетельствуют, что абсолютное большинство обследованных чернозёмов характеризуется высоким содержанием бора. Наблюдается положительная динамика: за пятилетний период доля таких почв увеличилась благодаря уменьшению площадей со средней обеспеченностью бором.

3. Динамика площадей чернозёмных почв по содержанию микроэлементов, % от общей обследованной площади пашни

Микроэлемент	Содержание	2020 г.	2025 г.	2025 г. относительно 2021 г., ±%
Бор	Низкое	0,05	0,05	0
	Среднее	0,89	0,72	-0,17
	Высокое	99,06	99,23	0,17
Марганец	Низкое	77,61	80,55	2,94
	Среднее	15,93	14,35	-1,58
	Высокое	6,46	5,10	-1,36
Медь	Низкое	88,38	86,18	-2,2
	Среднее	10,62	12,51	1,89
	Высокое	1,00	1,31	0,31
Цинк	Низкое	99,05	99,01	-0,04
	Среднее	0,90	0,97	0,07
	Высокое	0,05	0,02	-0,03
Кобальт	Низкое	99,19	99,27	0,08
	Среднее	0,56	0,44	-0,12
	Высокое	0,25	0,29	0,04

По содержанию подвижной меди также присутствует положительная динамика. Доля среднеобеспеченных площадей выросла на 1,89%, высокообеспеченных — на 0,31%. Это увеличение несущественно, так как на низкообеспеченные почвы приходится по-прежнему 86,18%.

По содержанию подвижного марганца в пахотном слое почвы ситуация обратная. К 2025 г. доля чернозёмных почв с низким содержанием данного элемента выросла до 80,55% за счёт снижения площадей со средней и высокой обеспеченностью.

Содержание подвижных форм цинка и кобальта в чернозёмах Центрального Предкавказья практически полностью соответствует низкой обеспеченности. Выявленная динамика малозначительна и составляет доли процента.

Выводы. В ходе исследований выявлено, что подавляющая часть пахотных площадей чернозёмов Центрального Предкавказья испытывает недостаток подвижных форм марганца, меди, цинка и кобальта. Для повышения эффективности выращивания сельскохозяйственных культур использование органических и основных минеральных удобрений следует сочетать с применением микроудобрений, содержащих перечисленные микроэлементы. Все подтипы чернозёма Центрального Предкавказья высоко обеспечены подвижным бором, борные удобрения целесообразно применять лишь на основе данных растительных диагностик и при возникновении признаков явного дефицита данного элемента.

Литература

1. *Митрохина, О. А.* Анализ содержания микроэлементов в различных типах почв и их взаимосвязи с урожайностью сельскохозяйственных культур на территории Центрально-Черноземного региона / О. А. Митрохина, Л. Н. Караулова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 4(388). – С. 355-357.
2. *Митрохина, О. А.* Оценка взаимосвязи урожаев основных сельскохозяйственных культур с содержанием микроэлементов в почвах ЦЧР / О. А. Митрохина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1(61). – С. 60-64. – DOI 10.18286/1816-4501-2023-1-60-64. – EDN MRLUEY.
3. *Митрохина, О. А.* Характеристика серых и темно-серых лесных почв ЦЧР по содержанию подвижных форм бора и цинка / О. А. Митрохина // Инновационные технологии в АПК: теория и практика : Сборник статей XII Международной научно-практической конференции, Пенза, 15–16 марта 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 161-164.
4. *Моделирование* показателей подвижных форм микроэлементов в почвах при длительном орошении и агроэкологическое обоснование мероприятий по сохранению их плодородия / О. В. Макуха, А. А. Макаренко, Л. О. Великанова [и др.] // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2024. – № 37(200). – С. 55-75.
5. *Сафонов, В. А.* Анализ содержания микроэлементов в почвах, воде и растениях пастбищ для выпаса крупного рогатого скота в регионе Нижней Волги / В. А. Сафонов, Т. С. Ермилова, А. Е. Черницкий // Химия и АПК: актуальные вопросы и научные достижения : Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А. Г. Малахова, Москва, 17–18 июня 2024 года. – М.: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К. И. Скрябина, 2024. – С. 25-29.
6. *Суринов, А. В.* Мониторинг содержания микроэлементов в почвах пашни Юго-Западной части ЦЧР / А. В. Суринов // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия : Сборник докладов XVIII Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», Курск, 26–28 апреля 2023 года. – Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", 2023. – С. 310-313.
7. *Сычев, В. Г.* Оценка фосфорного питания сельскохозяйственных культур в Ставропольском крае / В. Г. Сычев, Ю. И. Гречишкина, А. В. Матвиенко // Плодородие. – 2023. – № 5(134). – С. 8-11. – DOI 10.25680/S19948603.2023.134.02.
8. *Сычев, В. Г.* Эффективность минеральных удобрений при выращивании озимой пшеницы в условиях неустойчивого увлажнения Ставропольского края / В. Г. Сычев, Ю. И. Гречишкина, А. В. Матвиенко // Плодородие. – 2024. – № 5(140). – С. 43-46. – DOI 10.25680/S19948603.2024.140.09.
9. *Хужаева, Н. Т.* Макро- и микроэлементы растения Fritillaria severzovii / Н. Т. Хужаева, Б. Е. Абдуганиев, В. У. Хужаев // Universum: химия и биология. – 2024. – № 1-2 (115). – С. 36-40.
10. *Эффективность* микроэлементных удобрений в условиях Курской области : монография / В. И. Лазарев, А. Я. Айдиев, И. А. Золотарева,
11. *А. И. Стифеев, О. А. Шершнева*. – Курск : Курская ГСХА им. И. И. Иванова, 2013. – 139 с.
12. *Chen, C., Huang, J., Liu, W., Sun, D., Li, Y., & Yu, Y.* Cobalt: An essential micronutrient for plant growth? // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. Art. 768523. DOI: 10.3389/fpls.2021.768523.

MONITORING OF TRACE ELEMENT CONTENT IN THE CHERNOZEMS OF THE CENTRAL CISCAUCASIA

[1]Sychev V.G., [2]Grechishkina Yu.I., [3]Matvienko A.V.
[1]All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, str. Pryanishnikova, 31, 127434, Russia, ainfo@vniia-pr.ru
[2]Stavropol State Agrarian University"Stavropol State Agrarian University" 355017, Russia, Stavropol Territory, Stavropol, lane. Zootechnical 12, lnwg@mail.ru
[3]Stavropol branch of the Federal State Budgetary Institution "Agrochemical Service of Russia", 356241, Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, Nikonova str., 65, stavhim@mail.ru

The article presents the results of long-term monitoring (1965-2025) of the content of trace elements (boron, manganese, copper, zinc, cobalt) in the chernozem soils of the Central Ciscaucasia. The study covers four subtypes of chernozems: ordinary, typical, southern and leached. The main attention is paid to the analysis of mobile forms of trace elements, their dynamics and influence on soil fertility. It was found that the vast majority of the surveyed areas (99.23%) are characterized by a high boron content, while there is a tendency to increase it. At the same time, a deficiency of mobile forms of manganese, copper, zinc and cobalt has been identified, which limits crop productivity. The results of the study emphasize the need for a differentiated approach to the use of micronutrients: the exclusion of boric fertilizers (due to their excess) and the introduction of preparations containing manganese, copper, zinc and cobalt. The work has practical significance for optimizing agrochemical policy in the region and increasing crop yields.

Keywords: oil fertility, chernozem, trace elements, boron, manganese, copper, zinc, cobalt.