

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья

УДК 633.11:631.416.9

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-262-275

Накопление микроэлементов растениями озимой пшеницы в зависимости от технологии возделывания

Дмитрий Вячеславович Дубовик¹, Елена Валентиновна Дубовик²,
Александр Николаевич Морозов³, Александр Васильевич Шумаков⁴

^{1, 2, 3, 4}Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Российская Федерация

¹dubovikdm@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1585-6990>

²dubovikev@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5999-9718>

³alex.morozoff76@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4870-2995>

⁴kniiapp@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8620-7816>

Аннотация. **Цель:** оценить уровень накопления озимой пшеницей меди, цинка, марганца и кобальта в зависимости от технологии ее возделывания. **Материалы и методы.** Работа выполнена в 2020–2024 гг. на черноземе типичном Курской области. Изучали четыре агротехнологии возделывания озимой пшеницы, основанные на различных способах основной обработки почвы: традиционная (вспашка 20–22 см), дифференцированная (безотвальная обработка 20–22 см), минимальная (дискование до 8 см), прямой посев. При использовании всех технологий вносились минеральные удобрения в дозе $N_{17}P_{45}K_{45}$ кг/га в основное внесение и N_{51} в весеннюю подкормку. **Результаты.** В корнях озимой пшеницы максимальное содержание меди было при использовании дифференцированной технологии (18,31 мг/кг). Наиболее высокое содержание в корнях цинка (41,37 мг/кг) и марганца (253,76 мг/кг) отмечено при технологии прямого посева. В соломе озимой пшеницы по мере минимизации технологии концентрация меди снижается на 0,04–0,30 мг/кг, а цинка и марганца повышается на 1,21–2,56 и 9,24–15,20 мг/кг соответственно. В зерне озимой пшеницы от традиционной технологии к прямому посеву происходит рост содержания меди на 0,51–0,81 мг/кг, цинка на 0,39–3,05 мг/кг. Максимальное количество марганца выявлено в зерне, выращенном при дифференцированной технологии (31,61 мг/кг). Содержание кобальта в корнях, соломе и зерне по изучаемым технологиям существенно не изменяется. **Выводы.** Коэффициент биологического поглощения микроэлементов зерном озимой пшеницы выше, чем корнями и соломой. Для меди он больше в 5,77 и 8,50 раза, цинка – в 24,58 и 7,17 раза, марганца – в 3,04 и 2,23 раза, кобальта – в 8,4 и 8,4 раза соответственно. Наиболее высокое биологическое поглощение изучаемых микроэлементов всеми частями растений отмечается при использовании технологии прямого посева.

Ключевые слова: озимая пшеница, микроэлементы, медь, цинк, марганец, кобальт, технология возделывания, коэффициент биологического накопления

Сведения о научно-исследовательской работе, по результатам которой публикуется статья: работа выполнена и финансировалась в рамках тематики НИР «Разработать научно-практические основы энергоэффективных агротехнологий нового поколения на основе регулирования баланса биогенных элементов, обеспечивающих устойчивую продуктивность сельскохозяйственных культур, в условиях ЦЧР», тема № FGZU-2024-0001.

Для цитирования: Накопление микроэлементов растениями озимой пшеницы в зависимости от технологии возделывания / Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. Н. Морозов,

А. В. Шумаков // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 262–275. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-262-275>.

GENERAL AGRICULTURE, CROP SCIENCE

Original article

Accumulation of trace elements by winter wheat plants depending on the cultivation technology

Dmitry V. Dubovik¹, Elena V. Dubovik², Alexander N. Morozov³,
Alexander V. Shumakov⁴

^{1, 2, 3, 4}Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russian Federation

¹dubovikdm@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1585-6990>

²dubovikev@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5999-9718>

³alex.morozoff76@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4870-2995>

⁴kniiapp@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8620-7816>

Abstract. Purpose: to assess the level of accumulation of copper, zinc, manganese and cobalt in winter wheat, depending on its cultivation technology. **Materials and methods.** The work was carried out in 2020–2024 on typical chernozem of the Kursk region. Four agrotechnologies of winter wheat cultivation, based on various methods of primary tillage: traditional (plowing 20–22 cm), differentiated (non-tillage 20–22 cm), minimal (disking up to 8 cm) and direct sowing, were studied. All technologies used mineral fertilizers at a dose of $N_{17}P_{45}K_{45}$ kg/ha in the main and N_{51} in the spring top dressing. **Results.** In the roots of winter wheat, the maximum copper content was when using a differentiated technology (18.31 mg/kg). The highest content of zinc (41.37 mg/kg) and manganese (253.76 mg/kg) in the roots was observed with direct seeding technology. As the technology is minimized, the concentration of copper in winter wheat straw decreases by 0.04–0.30 mg/kg, while zinc and manganese increase by 1.21–2.56 and 9.24–15.20 mg/kg, respectively. In winter wheat grains, from traditional technology to direct sowing, the copper content increases by 0.51–0.81 mg/kg, zinc by 0.39–3.05 mg/kg. The maximum amount of manganese was found in grain grown with a differentiated technology (31.61 mg/kg). The cobalt content in roots, straw and grain does not change significantly according to the studied technologies. **Conclusions.** The coefficient of biological accumulation of trace elements in winter wheat grain is higher than in roots and straw. For copper, it is 5.77 and 8.50 times higher, zinc – 24.58 and 7.17 times, manganese – 3.04 and 2.23 times, cobalt – 8.4 and 8.4 times, respectively. The highest biological absorption of the studied trace elements by all parts of plants is noted when using direct seeding technology.

Keywords: winter wheat, copper, zinc, manganese, cobalt, cultivation technology, biological accumulation coefficient

Information about the research work, on results of which the article is published: the work has been carried out and financed within the framework of the research theme “Development of scientific and practical basis for the new generation energy-efficient agricultural technologies based on regulating the balance of biogenic elements that ensure sustainable productivity of agricultural crops under the conditions of the Central Black Earth Region”, Theme No. FGZU-2024-0001.

For citation: Dubovik D. V., Dubovik E. V., Morozov A. N., Shumakov A. V. Accumulation of trace elements by winter wheat plants depending on the cultivation technology. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(3):262–275. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-262-275>.

Введение. Среди элементов минерального питания растений особую роль занимают микроэлементы. Несмотря на малое содержание в живых организмах, они играют важнейшую роль в биохимических процессах, обеспечении нормального роста и развития растения [1]. При этом, накапливаясь в больших количествах, микроэлементы могут оказывать токсичное воздействие, выступая в этом случае как тяжелые металлы [2]. Основным источником поступления микроэлементов в растения является почва [3, 4]. Низкая обеспеченность почв различными формами микроэлементов отрицательно влияет на развитие растений, ведет к снижению урожайности [5].

На уровень содержания микроэлементов в почве и характер их поступления в растения оказывают влияние используемые агротехнологии [6, 7]. Среди элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур особое место занимает основная обработка почвы. Степень механического воздействия на почву обуславливает изменение физико-химических процессов, происходящих в ней [8]. Известно, что глубокая отвальная обработка способствует большей минерализации гумуса, подкислению почвы, минимальные обработки ведут к накоплению органического углерода [9, 10]. Повышение уровня плодородия, в части накопления гумуса, может вести к снижению доступности ряда микроэлементов, что связано с образованием устойчивых органоминеральных комплексов с гуминовыми кислотами, чему способствует кислая реакция почвенного раствора [11].

В последнее десятилетие в связи с аридизацией климата прослеживается тенденция к минимизации основной обработки почв уже не только в зоне недостаточного, но и в зоне неустойчивого увлажнения [12]. Поэтому особый интерес представляет технология прямого посева (No-till), предусматривающая отказ от какой-либо механической обработки почвы [13, 14]. При этом данных о влиянии технологии прямого посева на изменение содержания микроэлементов в почве и растениях недостаточно [15].

Цель работы: оценить уровень накопления озимой пшеницей меди, цинка, марганца и кобальта в зависимости от технологии ее возделывания.

Материалы и методы. Исследования выполнены в 2020–2024 гг. в полевом стационарном опыте Курского ФАНЦ (Курская область, Курский район, п. Черёмушки). Объект исследования – озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Безостая 100. Опыт представлен четырехпольным зерновым севооборотом, развернутым в пространстве и во времени со следующими культурами: горох, озимая пшеница, соя, ячмень. Размещение делянок в опыте систематическое, в один ярус, повторность трехкратная. Площадь делянки 6000 м² (60 × 100 м).

Изучаемые технологии возделывания озимой пшеницы основывались на применении разных способов основной обработки почвы и приемов внесения минеральных удобрений. Схема опыта включала следующие варианты:

- традиционная технология (отвальная обработка почвы на 20–22 см, основное внесение минеральных удобрений в дозе N₁₇P₄₅K₄₅ кг/га и подкормка в фазе весеннего кущения N₅₁ кг/га действующего вещества);
- дифференцированная технология (безотвальная обработка почвы – чизелевание на 20–22 см + дискование на 8–10 см, основное внесение минеральных удобрений в дозе N₁₇P₄₅K₄₅ кг/га и подкормка в фазе весеннего кущения N₅₁ кг/га действующего вещества);
- минимальная технология (поверхностная обработка – дискование до 8 см, основное внесение минеральных удобрений в дозе N₁₇P₄₅K₄₅ кг/га и подкормка в фазе весеннего кущения N₅₁ кг/га действующего вещества);
- прямой посев (без обработки почвы – технология No-till, основное внесение N₇P₁₉K₁₉ кг/га, припосевное – N₁₀P₂₆K₂₆ кг/га и подкормка в фазе весеннего кущения N₅₁ кг/га действующего вещества).

Почва опытного участка представлена черноземом типичным мощным тяжелосуглинистым. Содержание гумуса (по Тюрину) в пахотном

слое (0–20 см) – 5,32 % (среднее), щелочногидролизуемого азота (по Конфилду) – 15,6 мг/100 г (среднее), подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) – 20,1 (высокое) и 12,2 мг/100 г (повышенное) соответственно, $pH_{KCl} = 5,3$.

Валовое содержание микроэлементов в почве (Cu, Zn, Mn, Co) определяли методом спекания почвы с карбонатом натрия при дальнейшей обработке HNO_3 (1:1) и H_2O_2 (конц.) с атомно-абсорбционным окончанием. Содержание микроэлементов в зерне, соломе и корнях озимой пшеницы проводили по методу сухого озоления и кислотного сжигания (мокрого озоления). Все определения проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-3.

Статистическую обработку полученных данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов с использованием программ Microsoft Excel и Statistica.

Результаты. Изучаемые технологии возделывания озимой пшеницы не оказывали существенного влияния на содержание в почве валовых форм цинка, марганца и кобальта. Можно отметить снижение в почве количества валовой меди при использовании технологии прямого посева на 0,8–1,1 мг/кг. В среднем содержание меди было ниже кларка (К) почвы в 2,8 раза, цинка – в 1,7 раза, марганца – в 6,6 раза, кобальта – в 1,1 раза (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание валовых форм микроэлементов в почве (среднее за 5 лет)

В мг/кг

Table 1 – Content of gross forms of trace elements in soil (average for 5 years)

In mg/kg

Технология	Cu	Zn	Mn	Co
1	2	3	4	5
Традиционная	$7,5 \pm 0,17$	$30,9 \pm 0,47$	$129,8 \pm 4,73$	$9,7 \pm 0,36$
Дифференцированная	$7,3 \pm 0,26$	$29,4 \pm 0,61$	$124,6 \pm 2,51$	$9,0 \pm 0,21$
Минимальная	$7,2 \pm 0,18$	$29,9 \pm 0,40$	$129,4 \pm 3,46$	$9,5 \pm 0,30$

Продолжение таблицы 1

Table continued 1

1	2	3	4	5
Прямого посева	$6,4 \pm 0,19$	$29,1 \pm 0,61$	$127,2 \pm 2,74$	$9,1 \pm 0,26$
НСР ₀₅	0,6	1,4	8,4	1,2
Кларк почвы (К), мг/кг	20	50	850	10

Для определения накопления микроэлементов озимой пшеницей изучено их содержание в различных частях растений – корнях, соломе, зерне. Наиболее высокий уровень меди отмечен в корнях (таблица 2). При этом ее максимальное содержание было при дифференцированной технологии (18,31 мг/кг). По сравнению с ней, возделывание озимой пшеницы по другим изучаемым технологиям приводило к снижению количества меди в корнях: при традиционной технологии – на 0,92 мг/кг, минимальной – на 2,31 мг/кг, прямом посеве – на 1,51 мг/кг.

Таблица 2 – Содержание микроэлементов в растениях озимой пшеницы (среднее за 5 лет)

В мг/кг абсолютно сухого вещества

Table 2 – Trace element content in winter wheat plants (average over 5 years)

In mg/kg of absolutely dry matter

Технология	Cu	Zn	Mn	Co
Корни				
Традиционная	$17,39 \pm 0,71$	$33,52 \pm 1,65$	$243,52 \pm 1,22$	$0,79 \pm 0,02$
Дифференцированная	$18,31 \pm 0,39$	$37,67 \pm 1,24$	$241,75 \pm 2,35$	$0,72 \pm 0,03$
Минимальная	$16,00 \pm 0,21$	$37,21 \pm 1,04$	$246,33 \pm 2,46$	$0,70 \pm 0,04$
Прямого посева	$16,80 \pm 0,34$	$41,37 \pm 1,08$	$253,76 \pm 2,03$	$0,75 \pm 0,02$
НСР ₀₅	0,76	3,17	7,21	0,11
Солома				
Традиционная	$2,44 \pm 0,08$	$25,12 \pm 0,30$	$63,00 \pm 1,51$	$0,16 \pm 0,05$
Дифференцированная	$2,44 \pm 0,11$	$24,40 \pm 0,76$	$66,02 \pm 1,39$	$0,15 \pm 0,06$
Минимальная	$2,18 \pm 0,08$	$25,75 \pm 0,54$	$60,06 \pm 1,68$	$0,16 \pm 0,04$
Прямого посева	$2,14 \pm 0,07$	$26,96 \pm 0,56$	$75,26 \pm 1,79$	$0,17 \pm 0,05$
НСР ₀₅	0,25	1,08	6,12	0,05
ПДК	30	50	ОД	1,0
Зерно				
Традиционная	$3,53 \pm 0,10$	$34,66 \pm 0,77$	$29,11 \pm 0,58$	$0,20 \pm 0,05$
Дифференцированная	$3,83 \pm 0,15$	$36,38 \pm 0,73$	$31,61 \pm 0,62$	$0,22 \pm 0,05$
Минимальная	$3,70 \pm 0,16$	$37,32 \pm 0,30$	$29,71 \pm 0,39$	$0,25 \pm 0,03$
Прямого посева	$4,34 \pm 0,13$	$37,71 \pm 0,65$	$30,10 \pm 0,74$	$0,24 \pm 0,04$
НСР ₀₅	0,49	1,05	1,27	0,07
ПДК	10	50	ОД	0,5

Содержание меди в соломе было в среднем в 7,45 раза ниже, чем в корнях. По мере минимизации технологии отмечается тенденция к снижению концентрации меди в соломе с минимумом при прямом посеве (2,14 мг/кг).

Зерно озимой пшеницы накапливало меди меньше, чем корни, в 4,45 раза, но больше, чем солома, в 1,67 раза. При этом наименьшее содержание меди в зерне отмечено при традиционной технологии (3,53 мг/кг), а максимальное – при прямом посеве (4,34 мг/кг).

Наиболее высокое содержание цинка зафиксировано в корнях озимой пшеницы. Здесь его количество было выше, чем в соломе, в 1,46 раза, зерне – в 1,02 раза. Наиболее высокий уровень содержания цинка в корнях отмечался при технологии прямого посева (41,37 мг/кг). По сравнению с ней, количество цинка в корнях снижалось при традиционной технологии на 7,85 мг/кг, при дифференцированной – на 3,70 мг/кг, при минимальной – на 4,16 мг/кг.

Количество цинка в соломе также было максимальным при прямом посеве (26,96 мг/кг). Традиционная технология уступала ей на 1,84 мг/кг, дифференцированная – на 2,56 мг/кг, минимальная – на 1,21 мг/кг.

Технология прямого посева обеспечила более высокий уровень содержания цинка в зерне озимой пшеницы (37,71 мг/кг). При этом отмечается тенденция к повышению количества цинка в зерне по мере усиления минимизации уровня обработки почвы в технологиях на 0,39–3,05 мг/кг.

Максимальное содержание марганца было в корнях озимой пшеницы: в среднем выше в 3,73 раза, чем в соломе, и в 8,17 раза выше, чем в зерне, что вызвано акропетальным характером распределения этого элемента.

Традиционная, дифференцированная и минимальная технологии возделывания озимой пшеницы по уровню накопления марганца корнями существенно не различались, и содержание этого элемента варьировало в пределах 241,75–246,33 мг/кг. При прямом посеве количество марганца в корнях повышалось на 7,43–12,01 мг/кг, относительно других изучаемых технологий.

Аналогичный характер накопления марганца отмечается и для соломы: существенных различий между традиционной, дифференцированной и минимальной технологиями не выявлено, а при прямом посеве происходит увеличение содержания марганца в соломе на 9,24–15,20 мг/кг.

В зерне озимой пшеницы содержание марганца в среднем было меньше, чем в соломе, в 2,19 раза. Максимальным уровнем накопления этого элемента в зерне характеризуется дифференцированная технология (31,61 мг/кг), а наименьшим – традиционная технология (29,11 мг/кг). Традиционная, минимальная технологии и прямой посев по количеству марганца в зерне существенно не различались.

Концентрация кобальта была наиболее высокой в корнях озимой пшеницы, в среднем в 4,62 раза выше, чем в соломе, и в 3,22 раза выше, чем в зерне. Существенных различий между изучаемыми технологиями возделывания озимой пшеницы в содержании кобальта в корнях не наблюдалось, и количество этого элемента варьировало в пределах 0,70–0,79 мг/кг.

В соломе озимой пшеницы содержание кобальта колебалось от 0,15 до 0,17 мг/кг и в зависимости от изучаемой технологии существенно не различалось. В зерне количество кобальта было выше, чем в соломе, в 1,44 раза, но различия по технологиям были несущественны. Можно лишь отметить тенденцию к некоторому повышению содержания кобальта в зерне по мере усиления минимизации технологии возделывания озимой пшеницы.

ПДК изучаемых элементов в зерне и соломе озимой пшеницы не превышало допустимых значений.

Для расчета коэффициентов биологического поглощения (КБП) изучаемых микроэлементов было определено их содержание в золе озимой пшеницы (таблица 3). Наиболее высокой зольностью характеризуются корни растений – в среднем 37,3 %, что выше в 5,0 раз, чем количество в соломе, и в 24,9 раза выше, чем в зерне.

Таблица 3 – Содержание микроэлементов в золе растений озимой пшеницы (мг/кг золы) и коэффициенты биологического поглощения

Table 3 – Trace element content in winter wheat plant ash (mg/kg ash) and biological absorption coefficients

Технология	Зола, %	Cu		Zn		Mn		Co	
		мг/кг	КБП	мг/кг	КБП	мг/кг	КБП	мг/кг	КБП
Корни									
Традиционная	38,0	45,8	6,1	88,2	2,9	640,8	4,9	2,1	0,2
Дифференцированная	37,3	49,1	6,7	101,0	3,4	648,1	5,2	1,9	0,2
Минимальная	36,8	43,5	6,0	101,1	3,4	669,4	5,2	1,9	0,2
Прямого посева	36,9	45,5	7,1	112,1	3,9	687,7	5,4	2,0	0,2
Солома									
Традиционная	7,6	32,1	4,3	330,5	10,7	828,9	6,4	2,1	0,2
Дифференцированная	7,3	33,4	4,6	334,2	11,4	904,4	7,3	2,1	0,2
Минимальная	7,3	29,9	4,1	352,7	11,8	822,7	6,4	2,2	0,2
Прямого посева	7,3	29,3	4,6	369,3	12,7	1031,0	8,1	2,3	0,3
Зерно									
Традиционная	1,6	220,6	29,4	2166,3	70,1	1819,4	14,0	12,5	1,3
Дифференцированная	1,5	273,6	37,5	2598,6	88,4	2107,3	16,8	15,7	1,7
Минимальная	1,5	246,7	34,3	2488,0	83,2	1980,7	15,3	16,7	1,8
Прямого посева	1,4	310,0	48,4	2693,6	92,6	2150,0	16,9	17,1	1,9

КБП меди корнями озимой пшеницы достигал максимума при прямом посеве (7,1 ед.). Прямой посев, наряду с дифференцированной технологией, способствовал наименьшему КБП меди в соломе (4,6 ед.). Также прямой посев обеспечил наиболее высокий КБП зерном озимой пшеницы (48,4 ед.), что выше, чем традиционная технология, на 19,0 ед., дифференцированная технология – на 10,9 ед., минимальная технология – на 14,1 ед. В среднем КБП меди зерном озимой пшеницы был выше в 5,77 раза, чем корнями, и в 8,50 раза выше, чем соломой.

Технология прямого посева обеспечила максимальный КБП цинка корнями, соломой и зерном озимой пшеницы. Так в корнях КБП цинка при прямом посеве был выше на 0,5–1,0 ед., соломе – на 0,9–2,0 ед., зерне – на 4,2–22,5 ед., чем при других изучаемых технологиях. При этом минимальные КБП всеми частями растений отмечаются при традиционной технологии. В зерне озимой пшеницы цинка накапливается в 24,58 раза больше, чем в корнях, и в 7,17 раза больше, чем в соломе.

Аналогичный характер КБП наблюдается для марганца. При использовании технологии прямого посева во всех частях растений отмечается тенденция к росту КБП марганца. Так в корнях он увеличился на 0,2–0,5 ед., соломе – на 0,8–1,7 ед., зерне – на 0,1–2,9 ед. При традиционной технологии возделывания озимой пшеницы отмечаются наименьшие значения КБП марганца. В зерне озимой пшеницы марганца накапливается в 3,04 раза больше, чем в корнях, и в 2,23 раза больше, чем в соломе.

КБП кобальта для корней и соломы озимой пшеницы был низким (0,2 ед.) и по изучаемым технологиям не различался. Для зерна отмечается повышение КБП кобальта по мере минимизации технологии возделывания озимой пшеницы на 0,4–0,6 ед. с максимумом при прямом посеве (1,9 ед.). При этом в зерне озимой пшеницы биологическое накопление кобальта в 8,4 раза больше, чем в корнях и соломе.

Выводы. В результате исследований установлено, что технология возделывания озимой пшеницы не оказывала существенного влияния на содержание валовых форм микроэлементов в почве.

В опыте наиболее высокое содержание всех изучаемых микроэлементов отмечено в корнях озимой пшеницы: максимальное содержание меди было при использовании дифференцированной технологии (18,31 мг/кг); наиболее высокое содержание цинка (41,37 мг/кг) и марганца (253,76 мг/кг) отмечено при технологии прямого посева. Содержание кобальта в корнях по изучаемым технологиям существенно не изменяется.

В соломе озимой пшеницы по мере минимизации технологии концентрация меди снижается на 0,04–0,30 мг/кг, а цинка и марганца повышается на 1,21–2,56 и 9,24–15,20 мг/кг соответственно. Различия в содержании кобальта в соломе были незначимы.

В зерне озимой пшеницы от традиционной технологии к прямому посеву происходит рост содержания меди на 0,51–0,81 мг/кг, цинка – на 0,39–3,05 мг/кг. Максимальное количество марганца выявлено в зерне,

выращенном при дифференцированной технологии (31,61 мг/кг). По содержанию кобальта в зерне, выращенном по изучаемым технологиям, существенных различий не установлено.

Коэффициент биологического поглощения микроэлементов зерном выше, чем корнями и соломой. Для меди он больше в 5,77 и 8,50 раза, цинка – в 24,58 и 7,17 раза, марганца – в 3,04 и 2,23 раза, кобальта – в 8,4 и 8,4 раза соответственно. Наиболее высокое биологическое поглощение изучаемых микроэлементов всеми частями растений отмечается при использовании технологии прямого посева.

Список источников

1. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. Майкоп: Адыгея, 2003. 1027 с.
2. Микроэлементный состав сельскохозяйственных культур, произрастающих на территории Республики Беларусь / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Ю. А. Белявская, Т. М. Кирдун, О. М. Бирюкова, М. М. Торчило // Почвоведение и агрохимия. 2022. № 1(68). С. 163–174. DOI: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-163-174. EDN: ZBGSOW.
3. Лукин С. В., Жуйков Д. В. Мониторинг содержания марганца, цинка и меди в почвах и растениях Центрально-Черноземного района России // Почвоведение. 2021. № 1. С. 60–69. DOI: 10.31857/S0032180X21010093. EDN: PFYNUP.
4. Мониторинг содержания серы и микроэлементов в почвах Центрально-Черноземного района России / С. В. Лукин, Д. А. Куницын, В. В. Пироженко, Ю. И. Сискевич, А. Е. Бадин // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 1. С. 4–7. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_1_4. EDN: DBSNCS.
5. Лукин С. В., Хижняк Р. М. Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземной области // Агрохимия. 2015. № 8. С. 64–72. EDN: UCWHZN.
6. Сидорова И. И., Прядко О. А., Есипенко С. В. Влияние различных агротехнологий на валовое содержание тяжелых металлов в пахотном слое чернозема выщелоченного // Научный журнал КубГАУ. 2007. № 27(3). С. 365–373. EDN: JWXUIN.
7. Влияние технологий возделывания и минеральных удобрений на содержание микроэлементов и микробоценозов почвы / Н. Б. Зуева, И. В. Рукавицина, Л. Д. Жлоба, Е. В. Мамыкин, Н. А. Поползухина // Проблемы агрохимии и экологии. 2023. № 1. С. 15–22. DOI: 10.26178/AE.2023.79.69.003. EDN: ZQQJZU.
8. Физико-химические свойства чернозема выщелоченного при различной обработке почвы и применении удобрений в севообороте ЦЧР / О. А. Минакова, Д. С. Мерзликина, П. А. Косякин, Е. Н. Манаенкова, О. К. Боронтов // Агрохимия. 2023. № 4. С. 11–18. DOI: 10.31857/S0002188123040087. EDN: DIMWUQ.
9. Усенко В. И., Усенко С. В., Литвинцева Т. А. Содержание гумуса в выщелоченном черноземе в зависимости от севооборота, системы обработки почвы и удобрений в лесостепи юга Западной Сибири // Земледелие. 2020. № 6. С. 18–20. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10604. EDN: LGKBXT.
10. Влияние способов обработки почвы, минеральных и органических удобрений в различных севооборотах на содержание гумуса в черноземе типичном / С. И. Тю-

тюнов, В. Д. Соловиченко, А. С. Цыгуткин, И. В. Логвинов // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 5. С. 7–12. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10501. EDN: EJPKYT.

11. Волков И. В., Поляков Е. В. Комплексообразование гуминовых кислот с микроэлементами: методы и подходы // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78, № 12. С. 1064–1095. DOI: 10.31857/S0044450223120228. EDN: YXOLYV.

12. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России / А. Л. Иванов, В. В. Кулинцев, В. К. Дридигер, В. П. Белобров // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 4. С. 8–16. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10401. EDN: ZJYCZR.

13. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева / В. К. Дридигер, А. Л. Иванов, В. П. Белобров, О. В. Кутовая // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1111–1120. DOI: 10.31857/S0032180X20090038. EDN: YPASKH.

14. Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L. E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in northwestern Europe: a literature review // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 189. P. 98–109. DOI: 10.1016/j.still.2019.01.004.

15. Ильченко Я. И., Бирюкова О. А., Ерин В. А. Влияние минеральных удобрений на содержание микроэлементов в агрочерноземе при использовании технологии No-till // АгроЭкоИнфо. 2024. № 5(65). 13 с. DOI: 10.51419/202145510. EDN: GAPBGF.

References

1. Sheudzhen A.Kh., 2023. *Biogeokhimiya* [Biogeochemistry], Majkop, Adygeya Publ., 1028 p. (In Russian).

2. Bahatyrova E.N., Seraya T.M., Belyavskaya Y.A., Kirdun T.M., Biryukova O.M., Torchilo M.M., 2022. *Mikroelementnyy sostav sel'skohozyaystvennykh kul'tur, proizrastayushchih na territorii Respubliki Belarus* [Trace element composition of agricultural crops growing on the territory of the Republic of Belarus]. *Pochvovedenie i agrokhimiya* [Soil Science and Agrochemistry], no. 1(68), pp. 163-174, DOI: 10.47612/0130-8475-2022-1(68)-163-174, EDN: ZBGSOW.

3. Lukin S.V., Zhuykov D.V., 2021. *Monitoring sodержaniya marganca, tsinka i medi v pochvakh i rasteniyah Central'no-Chernozemnogo rajona Rossii* [Monitoring the content of manganese, zinc and copper in soils and plants of the Central Chernozemic Region of Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 1, pp. 60-69, DOI: 10.31857/S0032180X21010093, EDN: PFYNUP. (In Russian).

4. Lukin S.V., Kunitsyn D.A., Pirozhenko V.V., Siskevich Yu.I., Badin A.E., 2022. *Monitoring sodержaniya sery i mikroelementov v pochvakh Central'no-Chernozemnogo rayona Rossii* [Monitoring of the content of sulphur and trace elements in soils of the Central Chernozem Region of Russia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], no. 1(36), pp. 4-7, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_1_4, EDN: DBSNCS. (In Russian).

5. Lukin S.V., Khizhnyak R.M., 2015. *Ekologicheskaya otsenka zapasov tsinka, medi i molibdena v agrotsenozah lesostepi Central'no-Chernozemnoj oblasti* [Ecological assessment of reserves of zinc, copper and molybdenum in agrocenoses of Forest-Steppe of the Central Chernozem Region]. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], no. 8, pp. 64-72, EDN: UCWHZN. (In Russian).

6. Sidorova I.I., Pryadko O.A., Esipenko S.V., 2007. *Vliyanie razlichnykh agrotekhnologiy na valovoe sodержanie tyazhelykh metallov v pakhotnom sloe chernozema vyshchelochnogo* [Influence of various agrotechnologies on the total content of heavy metals in the arable layer of black leached soil]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [KubGAU Scientific Journal], no. 27(3), pp. 365-373, EDN: JWXUIH. (In Russian).

7. Zueva N.B., Rukavitsina I.V., Zhloba L.D., Mamykin E.V., Popolzukhina N.A., 2023. *Vliyanie tekhnologiy vozdeystviya i mineral'nykh udobreniy na sodержanie mikroelementov i*

mikrobiotsenoz pochvy [The influence of cultivation technologies and mineral fertilizers application on the content of trace elements and soil microbiocenosis]. *Problemy agrohimii i ekologii* [Agrochemistry and Ecology Problems], no. 1, pp. 15-22, EDN: ZQQJZU. (In Russian).

8. Minakova O.A., Merzlikina D.S., Kosyakin P.A., Manaenkova E.N., Borontov O.K., 2023. *Fiziko-khimicheskie svoystva chernozema vyshchelochennogo pri razlichnoj obrabotke pochvy i primenении udobreniy v sevooborote CChR* [Physical and chemical properties of leached chernozem under different soil treatment and fertilizer application in cropped rotation Central Black Earth region]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], no. 4, pp. 11-18, DOI: 10.31857/S0002188123040087, EDN: DIMWUQ. (In Russian).

9. Usenko V.I., Usenko S.V., Litvintseva T.A., 2020. *Soderzhanie gumusa v vyshchelochennom chernozeme v zavisimosti ot sevooborota, sistemy obrabotki pochvy i udobreniy v lesostepi yuga Zapadnoj Sibiri* [Humus content in leached chernozem depending on crop rotation, soil treatment system and fertilizers in the Forest-Steppe of the South of Western Siberia]. *Zemledelie* [Agriculture], no. 6, pp. 18-20, DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10604, EDN: LGKBXT. (In Russian).

10. Tyutyunov S.I., Solovichenko V.D., Tsigutkin A.S., Logvinov I.V., 2020. *Vliyanie sposobov obrabotki pochvy, mineral'nyh i organicheskikh udobreniy v razlichnykh sevooborotah na sodержание gumusa v chernozeme tipichnom* [The influence of soil cultivation methods, mineral and organic fertilizers in various crop rotations on the humus content in typical chernozem]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], no. 5(34), pp.7-12, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10501, EDN: EJP KYT. (In Russian).

11. Volkov I.V., Polyakov E.V., 2023. *Kompleksoobrazovanie guminovykh kislot s mikroelementami: metody i podhody* [Complexation of humic acids with microelements: methods and approaches]. *Zhurnal analiticheskoy himii* [Journal of Analytical Chemistry], no. 12(78), pp. 1064-1095, DOI: 10.31857/S0044450223120228, EDN: YXOLYV. (In Russian).

12. Ivanov A.L., Kulintsev V.V., Dridiger V.K., Belobrov V.P., 2021. *O celesoobraznosti osvoeniya sistemy pryamogo poseva na chernozemakh Rossii* [Feasibility of a direct sowing system on the Russian chernozems]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. [Achievements of Science and Technology of AIC], no. 4(35), pp. 8-16, DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10401, EDN: ZJYCZR. (In Russian).

13. Dridiger V.K., Ivanov A.L., Belobrov V.P., Kutovaya O.V., 2020. *Vosstanovlenie svoystv pochv v tekhnologii pryamogo poseva* [Restoration of Soil Properties by Using Direct Sowing Technology]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 9, pp. 1111-1120, DOI: 10.31857/S0032180X20090038, EDN: YPASKH. (In Russian).

14. Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L.E., 2019. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in northwestern Europe: a literature review. *Soil & Tillage research*, vol. 189, pp. 98-109, DOI: 10.1016/j.still.2019.01.004.

15. Ilchenko Ya.I., Biryukova O.A., Erin V.A., 2024. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy na sodержание mikroelementov v agrochernozeme pri ispol'zovanii tekhnologii No-till* [The effect of mineral fertilizers on the content of trace elements in agro-chernozem using No-till technology]. *Elektronnyy nauchno-proizvodstvennyy zhurnal «AgroEkoInfo»* [AgroEcoInfo Electronic Scientific and Production Magazine], no. 5(65), pp. 12, DOI: 10.51419/202145510, EDN: GAPBGF. (In Russian).

Информация об авторах

Д. В. Дубовик — главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Курский федеральный аграрный научный центр (305021, Курская область, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70Б), dubovikdm@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1585-6990;

Е. В. Дубовик — ведущий научный сотрудник, доктор биологических наук, Курский федеральный аграрный научный центр (305021, Курская область, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70Б), dubovikev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5999-9718;

А. Н. Морозов – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Курский федеральный аграрный научный центр (305021, Курская область, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70Б), alex.morozoff76@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4870-2995;

А. В. Шумаков – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Курский федеральный аграрный научный центр (305021, Курская область, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70Б), kniiapp@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8620-7816.

Information about the authors

D. V. Dubovik – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Federal Agricultural Kursk Research Center (305021, Kursk region, Kursk, st. Karl Marx, 70B), dubovikdm@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1585-6990;

E. V. Dubovik – Leading Researcher, Doctor of Biological Sciences, Federal Agricultural Kursk Research Center (305021, Kursk region, Kursk, st. Karl Marx, 70B), dubovikev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5999-9718;

A. N. Morozov – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Federal Agricultural Kursk Research Center (305021, Kursk region, Kursk, st. Karl Marx, 70B), alex.morozoff76@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4870-2995;

A. V. Shumakov – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Federal Agricultural Kursk Research Center (305021, Kursk region, Kursk, st. Karl Marx, 70B), kniiapp@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8620-7816.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.05.2025; одобрена после рецензирования 17.07.2025; принята к публикации 19.09.2025.

The article was submitted 19.05.2025; approved after reviewing 17.07.2025; accepted for publication 19.09.2025.