

Татьяна Владимировна Зубкова

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, заведующая кафедрой технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Елец, Липецкая область, Россия
E-mail: ZubkovaTanua@yandex.ru

Дмитрий Валериевич Виноградов

Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, заведующий кафедрой агрономии и агротехнологий, доктор биологических наук, профессор, Рязань, Россия
E-mail: vdvrzn@mail.ru

Ольга Алексеевна Дубровина

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, старший преподаватель кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Елец, Липецкая область, Россия
E-mail: laboratoria101@mail.ru

Вячеслав Леонидович Захаров

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, доцент кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Елец, Липецкая область, Россия
E-mail: zacharov7979@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ Cu и Zn В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОГО РАПСА

Цель исследования – изучение влияния различных доз куриного помета (КП), цеолита (Ц), их смесей и минеральных удобрений на накопление микроэлементов в вегетативных органах растений ярового рапса в различные фазы развития в условиях Липецкой области. Объектом исследования являлся сорт ярового рапса Риф, выведенный ГНУ ВНИИ рапса совместно с ГНУ ВНИИМК. Результаты опыта показали, что внесение цеолитсодержащей породы Тербунского месторождения способствовало снижению таких микроэлементов, как Cu и Zn в вегетативной массе рапса на протяжении всего периода развития растений. На опытных участках с использованием органо-минеральных смесей (органических отходов птицефабрики в дозах 2,5; 5 и 10 т/га) совместно с природным цеолитом (3 т/га) выявлена активная адсорбция цеолитсодержащей породой Тербунского месторождения по отношению к Zn, которая способствовала снижению элемента в вегетативной массе рапса в фазу розетки на 1,348; 1,901; 1,042 мг/кг сухого вещества; в фазу цветения – на 1,405; 1,920; 1,287; в фазу стручка – на 1,622; 1,994; 1,939; в фазу уборки – на 1,492; 1,806; 1,594 мг/кг сухого вещества соответственно. Установлено также снижение Cu в растениях ярового рапса на данных вариантах относительно контроля. Существенное уменьшение меди отмечалось в фазу розетки на варианте КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га, по отношению к контролю достоверное уменьшение элемента составило 0,928 мг/кг сухой массы растений. Следовательно, проведенные исследования позволяют рекомендовать возделывание ярового рапса с использованием в качестве удобрений органических отходов совместно с природным цеолитом в условиях Липецкой области.

Ключевые слова: цинк, медь, цеолит, органические отходы, рапс.

Tatiana V. Zubkova

Yelets State University named after I.A. Bunin, Head of the Department of Storage Technology and Processing of Agricultural Products, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Yelets, Lipetsk Region, Russia
E-mail: ZubkovaTanua@yandex.ru

Dmitry V. Vinogradov

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Head of the Department of Agronomy and Agrotechnology, Doctor of Biological Sciences, Professor, Ryazan, Russia

E-mail: vdvrzn@mail.ru

Olga A. Dubrovina

Yelets State University named after I.A. Bunin, Senior Lecturer, Department of Storage Technology and Processing of Agricultural Products, Yelets, Lipetsk Region, Russia

E-mail: laboratoria101@mail.ru

Vyacheslav L. Zakharov

Yelets State University named after I.A. Bunin, Associate Professor, Department of Storage Technology and Processing of Agricultural Products, Yelets, Lipetsk Region, Russia

E-mail: zaxarov7979@mail.ru

ORGANOMINERAL FERTILIZERS EFFECT ON Cu AND Zn ACCUMULATION IN SPRING RAPESEED PLANTS

The purpose of research is to study the effect of different doses of chicken manure (CP), zeolite (C), their mixtures and mineral fertilizers on the accumulation of microelements in the vegetative organs of spring rape plants at different stages of development in the Lipetsk Region. The object of the study was the variety of spring rapeseed Rif, bred by the State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Rapeseed in cooperation with the State Scientific Institution VNIIMK. The results of the experiment showed that the introduction of the zeolite-containing rock of the Terbunskoye deposit promoted a decrease in such trace elements as Cu and Zn in the vegetative mass of rapeseed throughout the entire period of plant development. On experimental plots using organic-mineral mixtures (organic waste from a poultry farm at doses of 2.5; 5 and 10 t/ha), together with natural zeolite (3 t/ha), active adsorption of the zeolite-containing rock of the Terbunskoye deposit in relation to Zn was revealed, which contributed to a decrease in the element in vegetative mass of rape in the rosette phase at 1.348; 1.901; 1.042 mg/kg dry matter; in the flowering phase – by 1.405; 1.920; 1.287; in the pod phase – by 1.622; 1.994; 1.939; in the harvesting phase – by 1.492; 1.806; 1.594 mg/kg of dry matter, respectively. A decrease in Cu in spring rape plants was also established in these variants relative to the control. A significant decrease in copper was noted in the rosette phase on the variant KP 2.5 t/ha + C 3 t/ha; in relation to the control, a significant decrease in the element was 0.928 mg/kg of dry weight of plants. Consequently, the studies carried out make it possible to recommend the cultivation of spring rapeseed using organic waste as fertilizers together with natural zeolite under the conditions of the Lipetsk Region.

Keywords: zinc, copper, zeolite, organic waste, rapeseed.

Введение. Последнее время все больше внимания уделяется вопросам полноценного питания растений. Наряду с основными элементами питания для их роста и развития необходимы микроэлементы. Сбалансированный микроэлементный состав обеспечивает полноценные физиологические процессы в растениях, способствует повышению продуктивности и качеству готовой продукции. К числу жизненно необходимых микроэлементов для рапса относят бор, молибден, марганец, цинк, медь и др. [1, 2].

Вопрос о содержании цинка и меди в растениях рапса требует особого наблюдения, так как благодаря высокой динамичности процессов трансформации этих элементов могут наблюдаться условия для проявления как их токсичности, так и недостатка [3].

Медь – микроэлемент, необходимый растениям для участия в процессах окисления и дыхания, улучшения фотосинтетической деятельности и водного баланса, повышения толерантности растений к температурному режиму и устойчивости к заболеваниям грибкового и бактериального происхождения. Оптимальное содержание меди в растениях рапса – от 3 до 10 мг/кг сухого вещества [4].

В растительном организме цинк входит в состав 30 ферментов. Данный элемент принимает участие в различных видах обменов, влияет на образование триптофана, повышает содержание фитогормонов, в свою очередь влияющих на на-

копление биомассы растений, оказывает положительное влияние на засухоустойчивость и холодостойкость растений, повышает устойчивость к грибковым и бактериальным заболеваниям. Оптимальное содержание цинка в растениях рапса – от 7,5 до 20 мг/кг сухого вещества [6].

Характер распределения эссенциальных элементов (Cu, Zn) в растениях рапса в зависимости от фазы развития и форм внесенных удобрений остается пока невыясненным.

Цель исследования: определить количественные параметры накопления цинка и меди растениями ярового рапса сорта Риф, выращенного при внесении цеолитсодержащей породы, минеральных, органических удобрений и органоминеральной смеси в условиях Липецкой области.

Материалы и методы исследования. опыты проведены в 2018–2019 гг. в условиях опытного поля ЕГУ им. И.А. Бунина. Почва участков – чернозем выщелоченный. Агротехническая характеристика почвы: гумус – 5,6–5,7 %; фосфор – 196,2–197,9 мг/кг; калий – 119,5–124,1 мг/кг; кальций – 25,7–26,3 мг-экв/100 г; магний – 2,0–2,4 мг-экв/100 г.

Объектом исследования являлся сорт ярового рапса Риф, выведенный ГНУ ВНИИ рапса совместно с ГНУ ВНИИМК. Возделывание рапса ярового осуществляли согласно общепринятой агротехнологии в Липецкой области. Высевали рапс в III декаде апреля, рядовым способом, норма высева 2,5 млн шт. всхожих семян/га.

В опыте использовали куриный помет (КП) с птицефабрики «Светлый путь» Елецкого района и природный цеолит (Ц) из Тербунского месторождения. Были изучены химико-аналитические свойства цеолита и отходов. Средний минеральный состав цеолита, масс%: Na (0,1); Mg (0,9); Al (9,4); Si (21,3); P (0,4); S (0,3); K (1,6); Ca (0,8); Fe (2,3); Cj (9,5); Ni (3,4); Cu (0,3); Zn (1,1); Mo (1,2). Средний минеральный состав отходов птицефабрики составляет, масс%: Na (1,5);

Mg (5,4); Al (0,5); Si (2,8); P (8,7); S (0,9); K (5,9); Ca (11,9); Fe (0,8); Co (9,2); Ni (4,6); Cu (0,7); Zn (5,5); Mo (4,7).

Закладку опыта производили в четырехкратной повторности по следующей схеме: 1) контроль; 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$; 3) Ц 3 т/га; 4) КП 2,5 т/га; 5) КП 5 т/га; 6) КП 10 т/га; 7) $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Ц 3 т/га; 8) КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га; 9) КП 5 т/га + Ц 3 т/га; 10) КП 10 т/га + Ц 3 т/га. Площадь опытных делянок составляла 20 м², площадь учетных – 15 м².

Опыт проводили в соответствии с методическими указаниями Б.А. Доспехова [5].

Содержание меди и цинка в растениях ярового рапса определяли в условиях научно-исследовательской агрохимической лаборатории ЕГУ им. И.А. Бунина атомно-абсорбционным методом согласно ГОСТ 30692-2000.

Результаты исследования

Медь. Проведенные исследования показывают, что наименьшая разница в вариантах опыта в фазу розетки по изучению содержания меди в растениях рапса от применяемых удобрений составила 0,181 мг/кг. В вариантах при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$, КП 2,5 т/га, КП 5 т/га и КП 10 т/га отмечался процесс накопления меди в вегетативной массе рапса (табл. 1).

Внесение цеолита 3 т/га и куриного помета 2,5 т/га не повлияло на содержание меди, а различия между контролем и данными вариантами оказались незначительными. Существенное уменьшение меди в эту фазу развития растений выявлено в варианте КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га, по отношению к контролю достоверное уменьшение элемента составило 0,928 мг/кг сухой массы растений. Увеличение дозы органического удобрения до 5 т/га с той же дозой цеолита (3 т/га) уменьшило содержание элемента на 0,651 мг/кг сухой массы. При внесении КП 10 т/га + Ц 3 т/га достоверное снижение металла составило 0,509 мг/кг сухой массы. Самое низкое содержание меди в рапсе выявлено в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Ц 3 т/га – 0,327 мг/кг сухой массы.

Таблица 1

Содержание меди в вегетативной массе растений рапса в зависимости от условий агроэкологических опытов, мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза			
	розетки	цветения	стручка	уборки
1	2	3	4	5
1. Контроль	9,083	7,869	6,281	4,371
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$	9,743	8,793	8,500	5,117

1	2	3	4	5
3. Ц 3 т/га	9,011	7,776	6,212	4,706
4. КП 2,5 т/га	9,166	8,167	7,087	5, 219
5. КП 5 т/га	9,473	9,091	7,864	5,944
6. КП 10 т/га	9,582	9,152	8,127	6,556
7. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +Ц 3 т/га	8,654	7,878	5,872	4,144
8. КП 2,5 т/га+Ц 3 т/га	8,155	7,390	6,275	4,206
9. КП 5 т/га+Ц 3 т/га	8,432	8,225	6,956	4,606
10. КП 10 т/га+Ц 3 т/га	8,574	8,394	7,573	4,963
НСР ₀₅	0,181	0,206	0,125	0,137
НСР, %	2,010	2,609	2,049	2,707

В фазу цветения содержание меди в вегетативных органах рапса (стебель, листья, соцветия) во всех вариантах опыта по сравнению с фазой розетки снизилось. В среднем на контрольном участке концентрация меди в вегетативных органах растений составляла 7,869 мг/кг сухой массы. Статистическая обработка полученных данных позволила выявить, что внесение Ц 3 т/га, КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га, N₆₀P₆₀K₆₀ + Ц 3 т/га практически не изменили содержание меди в органах растения по сравнению с контролем. Внесение N₆₀P₆₀K₆₀ в чистом виде, а также куриного помета (как в чистом виде, так и с применением цеолита) существенно повысило содержание меди в этой фазе. Эффект положительной зависимости между повышением азота в почве и количественным накоплением Cu в растительных организмах подтвержден рядом авторов [7, 8].

Сравнительный анализ между вариантами N₆₀P₆₀K₆₀ и N₆₀P₆₀K₆₀ + Ц 3 т/га выявил снижение меди в вегетативной массе растений рапса на 0,915 мг/кг сухой массы; в варианте КП 2,5 т/га и КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га – на 0,777 мг/кг сухой массы; КП 5 т/га и КП 5 т/га + Ц 3 т/га – на 0,866; КП 10 т/га и КП 10 т/га + Ц 3 т/га – на 0,758 мг/кг сухой массы.

В период формирования урожая несущественные различия выявлены между контролем и вариантами Ц 3 т/га, N₆₀P₆₀K₆₀ + Ц 3 т/га, КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га. Применение в чистом виде минеральных и органических удобрений, а также органоминерального комплекса КП 5 т/га +

Ц 3 т/га и КП 10 т/га + Ц 3 т/га показали существенное увеличение меди в вегетативных органах относительно контрольных значений.

Адсорбционная способность цеолита в фазу зеленого стручка позволила снизить содержание меди между вариантами № 2 и № 7 на 2,63; № 4 и № 8 – на 0,812; № 5 и № 9 – на 0,904; № 6 и № 10 – на 0,555 мг/кг сухой массы.

Динамика снижения элемента в опыте сохранилась на протяжении всего вегетационного периода с максимумом в фазу уборки.

В момент уборки урожая в вегетативной массе рапса существенных изменений по содержанию меди относительно контроля не выявлено в вариантах Ц 3 т/га, N₆₀P₆₀K₆₀ + Ц 3 т/га, КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га, КП 5 т/га + Ц 3 т/га. Достоверная разница выявлена от применения N₆₀P₆₀K₆₀, различных доз органических удобрений, а также органоминерального комплекса в дозе КП 10 т/га + Ц 3 т/га.

Разница в количественном содержании меди между вариантами с применением цеолита и без него составила: N₆₀P₆₀K₆₀ и N₆₀P₆₀K₆₀ + Ц 3 т/га – 0,973 мг/кг сухой массы; КП 2,5 т/га и КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га – 1,013; КП 5 т/га и КП 5 т/га + Ц 3 т/га – 1,338; КП 10 т/га и КП 10 т/га + Ц 3 т/га – 0,758 мг/кг сухой массы.

Цинк. Внесение органических удобрений, как в чистом виде, так и с применением цеолита, способствовало достоверному повышению содержания Zn в зеленой массе рапса во все фазы вегетации растений по сравнению с его содержанием в контрольном варианте (табл. 2).

**Содержание цинка в вегетативной массе растений рапса
в зависимости от условий агроэкологических опытов, мг/кг сухой массы**

Вариант	Фаза			
	розетки	цветения	стручка	уборки
1. Контроль	11,277	9,070	6,479	3,782
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,296	11,149	10,002	8,908
3. Ц 3 т/га	11,730	9,723	7,606	5,741
4. КП 2,5 т/га	17,402	14,962	11,281	7,036
5. КП 5 т/га	18,936	15,823	12,430	8,275
6. КП 10 т/га	19,517	16,750	13,427	9,825
7. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Ц 3 т/га	12,117	10,419	8,029	4,787
8. КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га	16,054	13,557	9,695	5,544
9. КП 5 т/га + Ц 3 т/га	17,036	13,912	10,436	6,469
10. КП 10 т/га + Ц 3 т/га	18,475	15,463	11,488	8,231
НСР ₀₅	0,323	0,326	0,571	0,337
НСР %	2,085	2,487	5,666	2,417

Максимальные значения цинка в вегетативной массе рапса отмечены в фазу розетки. На контрольных участках модельного опыта в зеленой массе растений в эту фазу содержалось 11,277 мг/кг сухого вещества, тогда как максимальное значение было выявлено в варианте с внесением органики в дозе 10 т/га, которое составило 19,517 мг/кг сухого вещества. В последующие фазы развития растений отмечается снижение Zn во всех вариантах опыта. К моменту сбора урожая в контрольных растениях его зафиксировано 5,782 мг/кг сухого вещества, а в растениях, отбираемых с варианта КП 10 т/га, – 8,231 мг/кг сухого вещества.

На опытных участках с использованием органоминеральных смесей (КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га, КП 5 т/га + Ц 3 т/га, КП 10 т/га + Ц 3 т/га) выявлена адсорбция цеолитсодержащей породы Тербунского месторождения по отношению к Zn, которая способствовала снижению элемента в вегетативной массе рапса в вариантах опыта на протяжении всего периода вегетации растений: в фазу розетки – на 1,348; 1,901; 1,042 мг/кг сухого вещества; в фазу цветения – на 1,405; 1,920; 1,287; в фазу стручка – на 1,622; 1,994; 1,939; в фазу уборки – на 1,492; 1,806; 1,594 мг/кг сухого вещества соответственно.

Минеральные удобрения в дозе N₆₀P₆₀K₆₀ в чистом виде и с применением цеолита (3 т/га) достоверно повышали содержание цинка в вегетативных органах растений рапса. Прямая зависимость между повышением азота в почве и накоплением цинка в растениях свидетельствует о биологической аккумуляции данного элемента [7, 9].

Динамика снижения элемента прослеживается, как и в случае с применением органоминерального комплекса, с максимумом накоп-

ления (12,296 мг/кг сухого вещества) в начале вегетации растений и минимумом в фазе уборки урожая (7,287 мг/кг сухого вещества).

Применение цеолита в чистом виде достоверно повышало содержание цинка в растениях рапса до фазы зеленого стручка. В фазу уборки достоверных различий с контролем не выявлено.

Выводы. Анализ микроэлементного состава зеленой массы растений ярового рапса в условиях агроэкологического опыта позволил установить, что содержание Cu и Zn зависело как от дозы внесения удобрений, так и от фазы развития растений. Поступление цинка и меди в начальный период развития выше, чем в период созревания.

Наиболее вариабельным элементом в изучаемом опыте являлась медь. Разница в количественном содержании меди между вариантами с применением цеолита и без него к моменту уборки составила: N₆₀P₆₀K₆₀ и N₆₀P₆₀K₆₀ + Ц 3 т/га – 0,973 мг/кг сухой массы; КП 2,5 т/га и КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га – 1,013; КП 5 т/га и КП 5 т/га + Ц 3 т/га – 1,338; КП 10 т/га и КП 10 т/га + Ц 3 т/га – 0,758 мг/кг сухой массы. На опытных участках с использованием органоминеральных смесей (КП 2,5 т/га + Ц 3 т/га, КП 5 т/га + Ц 3 т/га, КП 10 т/га + Ц 3 т/га) выявлена адсорбция цеолитсодержащей породы по отношению к Zn: в фазу розетки – на 1,348; 1,901; 1,042 мг/кг сухого вещества; в фазу цветения – на 1,405; 1,920; 1,287; в фазу стручка – 1,622; 1,994; 1,939; в фазу уборки – 1,492; 1,806; 1,594 мг/кг сухого вещества соответственно.

В целом совместное использование цеолита с отходами птицеводства можно рекомендовать для возделывания ярового рапса в условиях Липецкой области.

Литература

References

1. Pandey N., Hasanuzzaman M., Fujita M., Oku H., Nahar K., Hawrylak-Nowak B. Role of Plant Nutrients in Plant Growth and Physiology // Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance. Singapore. 2018. P. 51–93. DOI: 10.1007/978-981-10-9044-8_2.
2. Martin B., Patrick B., Ismail C., Zed R., Fanjie Z. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition) // Chapter 7 – : Micronutrients Function of Nutrients: Micronutrients. 2012. P.191–248. DOI: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8.
3. Афонченко Н.В., Рязанцева Н.В., Дегтева М.Ю. Накопление цинка и меди в почве и растениях // Аграрная наука – сельскому хозяйству: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. Курск, 2009. С. 38–41.
4. Дубровина О.А., Зубкова Т.В., Виноградов Д.В. Накопление микроэлементов растениями ярового рапса при использовании куриного помета и цеолита // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2020. № 4 (48). С. 17–23.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для вузов. М.: Альянс, 2011. 351 с.
6. Зубкова Т.В., Виноградов Д.В. Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помета и применение его в технологии ярового рапса на семена // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 46–55.
7. Зубкова В.М. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах и влияние удобрений на их поведение в системе почва-растение: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2004. 44 с.
8. Кузина Л.Б. Изменение форм и биодоступности меди и цинка при длительном применении удобрений // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 7. С. 92–119. DOI: 10.5281/zenodo.1312188.
9. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants // 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press. 2010. P. 548. DOI: 10.1017/S0014479711000743.
1. Pandey N., Hasanuzzaman M., Fujita M., Oku H., Nahar K., Hawrylak-Nowak B. Role of Plant Nutrients in Plant Growth and Physiology // Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance. Singapore. 2018. P. 51–93. DOI: 10.1007/978-981-10-9044-8_2.
2. Martin B., Patrick B., Ismail C., Zed R., Fanjie Z. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition) // Chapter 7 – : Micronutrients Function of Nutrients: Micronutrients. 2012. P.191–248. DOI: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8.
3. Afonchenko N.V., Ryazanceva N.V., Degteva M.Yu. Nakoplenie cinka i medi v pochve i rasteniyah // Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu: mat-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. Kursk, 2009. S. 38–41.
4. Dubrovina O.A., Zubkova T.V., Vinogradov D.V. Nakoplenie mikro'elementov rasteniyami yarovogo rapsa pri ispol'zovanii kurinogo pometa i ceolita // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2020. № 4 (48). S. 17–23.
5. Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): ucheb. dlya vuzov. M.: Al'yans, 2011. 351 s.
6. Zubkova T.V., Vinogradov D.V. Svoystva organomineral'nogo udobreniya na osnove kurinogo pometa i primenenie ego v tehnologii yarovogo rapsa na semena // Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skohozyajstvennoy akademii. 2021. № 1 (53). S. 46–55.
7. Zubkova V.M. Osobennosti nakopleniya i raspredeleniya tyazhelyh metallov v sel'skohozyajstvennyh kul'turah i vliyanie udobrenij na ih povedenie v sisteme pochva-rastenie: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. M., 2004. 44 s.
8. Kuzina L.B. Izmenenie form i biodostupnosti medi i cinka pri dlitel'nom primenenii udobrenij // Byulleten' nauki i praktiki. 2018. T. 4, № 7. S. 92–119. DOI: 10.5281/zenodo.1312188.
9. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants // 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press. 2010. P. 548. DOI: 10.1017/S0014479711000743.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Липецкой области в рамках научного проекта № 19-44-480003