

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В СКЛОНОВОМ АГРОЛАНДШАФТЕ ЦЧР И ИХ СВЯЗЬ С УРОЖАЙНОСТЬЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

О. А. Митрохина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и агроэкологического мониторинга, mitrokhina1977@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5035-841X

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр», 305021, г. Курск, ул. К. Маркса, д. 70б

Цель исследований – определить содержание подвижных форм микроэлементов в почвах на разных экспозициях рельефа и установить взаимосвязь элементов с урожайностью основных сельскохозяйственных культур в условиях ЦЧР. Исследования проводили на территории Курской области на полях ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в период с 2006 по 2016 г. в лаборатории агрохимии и агроэкологического мониторинга. Предметом исследований были микроэлементы и их количество. Объектом исследований – пахотные почвы изучаемой территории и урожайность сельскохозяйственных культур. Установлено, что склоны полярных экспозиций имеют различный уровень содержания микроэлементов. Содержание подвижной меди снижалось на склоне северной экспозиции – 0,07 мг/кг и водораздельного плато – 0,09 мг/кг. На склоне южной экспозиции оно имело тенденцию к увеличению (0,10 мг/кг). Наибольшее содержание подвижного цинка отмечено на водораздельном плато (0,13 мг/кг), наименьшее – на южном склоне (0,06 мг/кг). Содержание марганца на территории водораздельного плато было сравнительно выше в сравнении со склонами полярных экспозиций – 17 мг/кг, северный склон – 10,8 мг/кг, южный – 8,0 мг/кг. Выявлено, что микроэлементы оказывают различное влияние на урожайность изучаемых культур по элементам рельефа. На территории северного склона и водораздельного плато на урожайность ячменя большее влияние оказывает содержание цинка и марганца. Урожайность озимой пшеницы имеет зависимость от марганца. На южном склоне на урожайность изучаемых культур существенное влияние оказывало содержание подвижных цинка и марганца в комплексе.

Ключевые слова: экспозиция склона, микроэлементы, взаимосвязь, урожайность.

Для цитирования: Митрохина О. А. Микроэлементы в склоновом агроландшафте ЦЧР и их связь с урожайностью сельскохозяйственных культур // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 78–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-78-83.



MICROELEMENTS IN THE SLOPE AGRICULTURAL LANDSCAPE OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION AND THEIR CORRELATION WITH GRAIN CROP PRODUCTIVITY

O. A. Mitrokhina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for agrochemistry and agroecological monitoring, mitrokhina1977@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5035-841X

FSBSI Kursk Federal Agrarian Research Center, 305021, Kursk, Karl Marks Str., 70b; e-mail: kurskfarc@mail.ru

The purpose of the current study was to determine the content of mobile forms of microelements in soils with different relief and to establish the correlation between elements and productivity of the main agricultural crops under the conditions of the Central Blackearth Region. The study was carried out on the territory of the Kursk region on the fields of the FSBSI Kursk FARC in the laboratory for agrochemistry and agroecological monitoring in the period from 2006–2016. The subjects of the study were microelements and their quantity. The object of the study was the arable soil and grain crop productivity. There has been established that the slopes of polar exposures have different levels of microelement content. The content of mobile copper has decreased on the slope of the northern exposure and amounted to 0.07 mg/kg and 0.09 mg/kg on the watershed plateau. On the slope of the southern exposure, it has tended to increase (0.10 mg/kg). The highest content of mobile zinc has been determined on the watershed plateau (0.13 mg/kg), the lowest on the southern slope (0.06 mg/kg). The manganese content on the territory of the watershed plateau was relatively higher in comparison with the slopes of polar exposures (17 mg/kg), northern slope (10.8 mg/kg), and southern one (8.0 mg/kg). There has been found that microelements have a different effect on productivity of the studied grain crops according to land relief. On the territory of the northern slope and the watershed plateau, barley productivity has been more influenced by the content of zinc and manganese. Winter wheat productivity was dependent on manganese. On the southern slope, productivity of the studied grain crops was significantly affected by both the content of mobile zinc and manganese.

Keywords: slope exposure, microelements, correlation, productivity.

Введение. Земельный фонд Российской Федерации насчитывает 1709 млн га, из них 651 тыс. га (38,1 %) сельскохозяйственных угодий, расположенных на разных типах почв.

Площадь пахотных земель насчитывает 220 млн га (Стифеев и др., 2015).

На территории Центрально-Черноземного региона распространены две природные

зоны – лесостепная и степная. Благодаря сравнительно благоприятным природным и экологическим условиям данная территория является районом интенсивного земледелия и животноводства. В регионе производили зерна 10 %, сахарной свеклы 54 %, подсолнечника 23 %, молока и мяса 5 % от общего объема Российской Федерации, сельскохозяйственной продукции в расчете на одного жителя – в 1,5 раза больше, чем в среднем по стране (Гасанов и Арсланов, 2017).

Климат данного региона характеризуется умеренной континентальностью, усиливающейся с северо-запада на юго-восток и проявляющейся в резком колебании температуры и относительной влажности воздуха, неравномерностью распределения осадков в течение года и по годам, наличием выраженных засушливо-суховейных периодов. Различия климатических условий определяются особенностями рельефа и большой протяженностью региона на восток. В регионе складывается преимущественно антициклонный тип погоды.

В период проведения исследований (2006–2016 гг.) среднегодовая температура воздуха составила 7,6 °С, что на 2,2 °С выше среднеголетней нормы, сумма активных температур (более 10 °С) была 2381 °С, среднегодовое количество осадков – 616 мм в год. Годовое количество атмосферных осадков подвержено колебаниям от 480 до 920 мм. За период с температурой 10 °С количество осадков составляет 580 мм, за холодный период – 319 мм. Гидротермический коэффициент ГТК – 1,04. В целом погодные условия исследуемых лет были удовлетворительными для роста и развития сельскохозяйственных культур. Исключение составляет 2010 год. В этот год наблюдалась самая высокая температура за апрель–август, а средняя температура за июнь–август превысила многолетнюю норму на 4,0 °С. Значение ГТК в 2010 г. соответствовало 0,5.

Особенностью современного рельефа ЦЧР является множество оврагов, развитию которых способствовали как природные факторы (всхолмленность, легкоразмываемые грунты), так и социально-экономические (вырубка лесов, распашка лугов) (Какушкина и др., 2022).

Однако наибольшая часть почв сосредоточена на равнинной поверхности, но не стоит забывать почвы, образованные на так называемых неудобных видах рельефа.

Организация сельскохозяйственной деятельности на разных типах местности имеет ряд своих особенностей, которые определены местоположением почв, различным уровнем элементов питания на склонах полярных экспозиций и многими другими факторами.

Правильное и рациональное использование каждого участка земли, без ее потери, является актуальной задачей современного земледелия. Одной из главных причин неоднородности плодородия почв является различие в рельефе местности (Рагимов, 2020).

В последнее время вопрос, связанный с содержанием микроэлементов в почвах и их влиянием на урожайность сельскохозяйственных культур, является актуальным, чему способствуют многие факторы. Одним из важных факторов является то, что в большинстве регионов Российской Федерации почвы имеют малые запасы микроэлементов, а это приводит к снижению урожайности и качественных показателей сельскохозяйственных культур.

По сравнению с макроэлементами, культуры потребляют микроэлементы в небольших количествах, но от этого их роль не становится менее значимой. Микроэлементы входят в состав важнейших ферментов, гормонов и других физиологически активных соединений, участвуют в процессах синтеза белков, углеводов, жиров и витаминов. Их действие положительно сказывается на развитии и посевных качествах семян, а также на устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды (Зыкова и др., 2013; Петрова и Толорая, 2017; Борисова, 2017; Azarenko, 2019; Павловская и др., 2019; Лукин и др., 2022).

При дефиците какого-либо элемента нет смысла пробовать увеличить урожайность за счет внесения других элементов.

Несмотря на большое количество исследований по агрохимии и биохимии микроэлементов на территории Центрального Черноземья (Глазунов и др., 2021; Дрепа и др., 2022), вопрос влияния рельефа на содержание микроэлементов в почвах ЦЧР и их действия на урожайность сельскохозяйственных культур остается недостаточно изученным, а их содержание в почвах является недооцененным агроэкологическим фактором. Имеющиеся данные по содержанию микроэлементов в почвах и их взаимосвязям с урожайностью сельскохозяйственных растений недостаточно обобщены и сгруппированы.

Цель исследований – определить содержание подвижных форм микроэлементов в почвах на разных экспозициях рельефа и установить взаимосвязь элементов с урожайностью основных сельскохозяйственных культур в условиях ЦЧР.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на территории Курской области (поля ФГБНУ «Курский ФАНЦ») в период с 2006 по 2016 г. в лаборатории агрохимии и агроэкологического мониторинга. В работе использованы материалы многофакторного полевого опыта ВНИИЗ и ЗПЭ, литературные данные. Опытные поля расположены в северной части Медвенского района Курской области. Административно-хозяйственный центр находится в селе 1-е Панино на расстоянии 28 км от г. Курска. В районе преобладают склоновые земли и высокая степень распаханности (80 %) в условиях склонового рельефа (коэффициент расчленения составляет 1,4 км/км²). Черноземы типичные в районе исследований граничат с черноземами выщелоченными. При проведении исследований

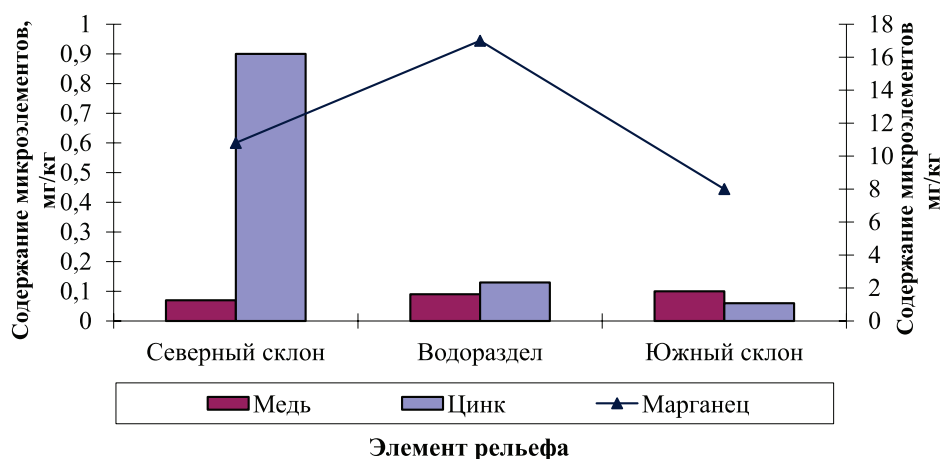
на склоне северной экспозиции использовался комплекс типичных и выщелоченных черноземов, чернозем типичный неэродированный – водораздельное плато, среднеэродированный чернозем – склон южной экспозиции.

Для определения агрохимической характеристики почвы использовались следующие ГОСТы: подвижная медь (ГОСТ 50683-94), подвижный марганец (ГОСТ Р 50682-94), подвижный цинк (ГОСТ 50686-94). Величина кислотности (рН) (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса по Тюрину (ГОСТ 26213-91), гидролитическая кислотность – по Каппену (ГОСТ 26212-91), сумма поглощенных оснований по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88). Все почвенные показатели определяли в пахотном слое 0–20 см.

Математическую обработку результатов выполняли с использованием программ Excel.

Объектами исследований являлся микроэлементный состав пахотных почв исследуемой территории и их взаимосвязь с урожайностью сельскохозяйственных культур.

Результаты и их обсуждение. На основании проведенных исследований за изучаемый период времени (2006–2016 гг.) выявлено, что содержание изучаемых микроэлементов (цинк, медь, марганец) изменялось по элементам рельефа. Уровень подвижной меди имел наиболее низкое содержание на склоне северной экспозиции (0,07 мг/кг) и водораздельного плато (0,09 мг/кг). На склоне южной экспозиции содержание подвижной меди имело небольшую тенденцию к увеличению (0,10 мг/кг). Наибольшее содержание подвижного цинка отмечено на водораздельном плато (0,13 мг/кг), наименьшее – на южном склоне (0,06 мг/кг). Содержание марганца на территории водораздельного плато было выше в сравнении со склонами полярных экспозиций – 17 мг/кг, северный склон – 10,8 мг/кг, южный – 8,0 мг/кг (см. рисунок). В целом установлено, что по содержанию микроэлементов вся изучаемая территория относится к категории низкообеспеченной.



Содержание микроэлементов на различных экспозициях рельефа, мг/кг
The content of microelements on various relief exposures, mg/kg

Известно, что содержание микроэлементов в почвах подчинено ряду закономерностей и зависит от множества факторов. К ним относится содержание микроэлементов в материнской породе (чем больше обеспечена микроэлементами горная порода, тем больше их в почвах). Различные по своему составу почвы содержат разное количество микроэлементов. Так, почвы с высоким уровнем содержания физической глины являются более обеспеченными микроэлементами, чем пески и супеси. Кислотность почв и обеспеченность органическим веществом также накладывают свой отпечаток на уровень содержания микроэлементов. Почвы с реакцией среды близкой к нейтральной или нейтральной имеют в своем составе больше микроэлементов. Почвы с повышенным содержанием гумуса преимущественно и микроэлементами обеспечены больше. Это объясняется тем, что гумусовые вещества способны поглощать ионы микро-

элементов из окружающей среды, наряду с этим в растительных и животных остатках находится значительное количество микроэлементов. Содержание в почве макроэлементов также способно оказывать влияние на уровень микроэлементного состава почв.

Нами проведены исследования по вопросу влияния различных факторов на содержание микроэлементов в почвах изучаемой территории. Полученные данные представлены в таблице 1.

Проведенные исследования указывают на то, что на склоне северной экспозиции отмечена наиболее существенная связь содержания микроэлементов с кислотностью почв (рН). Уровень тесноты полученных связей различный – с подвижной медью и цинком связь средняя положительная ($r = 0,66 \pm 0,06$), ($r = 0,64 \pm 0,09$), с марганцем – тесная положительная ($r = 0,74 \pm 0,09$).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между содержанием в почве микроэлементов и изучаемыми факторами по элементам рельефа
Table 1. Correlation coefficients between the content of microelements in soil and the studied factors according to relief elements

Показатели	Северный склон			Водораздел			Южный склон		
	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn
Гумус	0,60	0,49	0,51	0,44	0,57	0,38	0,38	0,31	0,50
pH _(КС)	0,66	0,64	0,71	0,45	0,66	0,53	0,46	0,65	0,75
N щ.г.	0,35	0,58	0,67	0,40	0,15	0,32	0,58	0,65	0,25
P ₂ O ₅	0,29	0,30	0,20	0,32	0,10	0,30	0,10	0,28	0,12

Примечание. N щ.г. – азот щелочногидролизуемый, мг/100 г почвы.

Связь микроэлементов с органическим веществом почвы варьирует от слабой до средней. Наблюдается наиболее заметная связь меди с гумусом ($r = 0,60 \pm 0,09$). Связь с макроэлементами слабая положительная (табл. 1). На водораздельном плато наблюдается средняя положительная связь подвижных форм меди и марганца с органическим веществом и кислотностью почвы. На территории южного склона можно отметить высокую связь кислотности почвы с марганцем ($r = 0,75 \pm 0,09$), среднюю с цинком ($r = 0,65 \pm 0,09$). Также средняя положительная связь отмечена между содержанием азота и цинком ($r = 0,65 \pm 0,09$), связь с фосфором слабая.

Проведенный корреляционный анализ связи экспозиции рельефа (склона) с содержанием изучаемых микроэлементов дал следующие результаты.

Тесная положительная связь отмечена между содержанием подвижной меди и экспозицией склона ($r = 0,84 \pm 0,05$), связь с марганцем средняя ($r = 0,62 \pm 0,07$), связь цинка с экспозицией рельефа высокая положительная ($r = 0,77 \pm 0,09$).

Получение хорошего урожая является важнейшей целью сельскохозяйственной деятельности, которая связана с возделыванием растений. Получение стабильного и высокого урожая – это результат множества факторов: свойств почвы, правильного выбора сортов растений, ухода за посевами, оптимального применения технологий при возделывании культур и др. (Митрофанов, 2017). Немаловажную роль в формировании высокого урожая играют микроэлементы.

Влияние микроэлементного состава почв на урожайность культур устанавливалось с помощью регрессионного анализа. Полученные уравнения зависимости урожайности сельскохозяйственных культур по элементам рельефа представлены в таблице 2.

Таблица 2. Регрессионные уравнения зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от микроэлементного состава почв
Table 2. Regression equations for the dependence of grain crop productivity upon soil microelement composition

Элемент рельефа	Уравнение регрессии	R%
Северный склон	У ячменя = $2,53 + 31,28 \cdot X_1$	50,23
	У оз. пшеницы = $35,48 - 0,15 \cdot X_2 + 28,22 \cdot X_1$	68,20
Водораздельное плато	У ячменя = $2,22 + 50,28 \cdot X_1 + 0,52 \cdot X_2$	52,28
	У оз. пшеницы = $42,32 + 0,42 \cdot X_2$	77,12
Южный склон	У ячменя = $2,62 + 20,22 \cdot X_2 + 0,48 \cdot X_1$	64,20
	У оз. пшеницы = $28,23 + 3,46 \cdot X_1 + 0,55 \cdot X_2$	60,10

Примечание. У – урожайность культуры, ц/га; X_1 – содержание цинка в почве, мг/кг; X_2 – содержание марганца в почве, мг/кг.

Полученные данные указывают на то, что на склоне северной экспозиции урожайность ячменя в большей степени зависит от содержания подвижных цинка и марганца в почве. С увеличением содержания элементов растёт урожайность ячменя. На водораздельном плато и южном склоне на урожайность ячменя в большей степени оказывают влияние как содержание подвижного марганца в почвах, так и содержание подвижного цинка.

Урожайность озимой пшеницы на склоне северной экспозиции имела существенную зависимость от содержания марганца. На водораздельном плато и склоне южной экспозиции

урожайность культуры зависела от содержания подвижных цинка и марганца.

Выводы. Проведенные исследования указывают на то, что рельеф является одним из существенных факторов, влияющих на содержание микроэлементов в почве. На различных элементах рельефа наблюдается разное содержание подвижных микроэлементов в почвах.

За изучаемый промежуток времени (10 лет) наибольшим содержанием цинка отличались почвы водораздельного плато и северного склона (0,13 мг/кг; 0,9 мг/кг соответственно), склон южной экспозиции был менее обеспечен данным микроэлементом (0,06 мг/кг). Более вы-

сокое содержание марганца отмечено в почвах водораздельного плато (17 мг/кг), по содержанию подвижной меди выигрывал южный склон (0,10 мг/кг). Изменчивость микроэлементного состава на различных элементах рельефа определена многими факторами: природными условиями почвообразования, содержанием органического вещества, уровнем кислотности, антропогенным воздействием.

Результаты проведенных исследований показывают, что микроэлементы оказывают существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Об этом свидетельствуют полученные высокие значения коэффициентов детерминации.

При возделывании сельскохозяйственных культур на склонах полярных экспозиций необходимо учитывать неоднородность плодородия почв.

Библиографические ссылки

1. Борисова Т. Г. Эффективность применения и востребованность регуляторов роста Циркона, Эпина-Экстра и микроудобрений в технологии выращивания зерновых культур // Зерновое хозяйство России. 2017. № 49(1). С. 70–72.
2. Гасанов Г. Н., Арсланов М. А. О системах содержания почв вирригационных агроландшафтах и их классификации // Земледелие. 2017. № 1. С. 21–24.
3. Глазунов Г. П., Афонченко Н. В., Золотухин А. Н. Пространственная неоднородность показателей плодородия черноземных почв в склоновых агроландшафтах ЦЧР // Земледелие. 2021. № 7. С. 3–9. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-7-3-9.
4. Дрепа Е. Б., Пшеничный Р. Н., Пономаренко М. В. и др. Роль стимулятора роста и микроудобрений в формировании продуктивности озимой пшеницы в засушливых условиях // Земледелие. 2021. № 3. С. 23–26. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10305.
5. Зыкова И. Д., Ефремов А. А., Герасимов В. С., Лешок А. А. Особенности накопления макро- и микроэлементов в надземной части *Filipendula Ulmaria* (L) Maxim в разные фенологические фазы // Химия растительного сырья. 2013. № 2. С. 189–193. DOI: 10.14258/jcprm.1302189.
6. Какушкина М. А., Куликова Я. А., Алексахина Е. С., Боровикова О. В. Природно-исторические и экономические предпосылки формирования агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2022. № 2(89). С. 52–57. DOI: 10.37493/2307-907X.2022.2.7.
7. Лукин С. В., Куницын Д. А., Пироженов В. В., Сискевич Ю. И., Бадин А. Е. Мониторинг содержания серы и микроэлементов в почвах Центрально-Черноземного района России // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 1. С. 4–7. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_1_4.
8. Митрофанов Д. В. Повышение плодородия почвы и пути его сбережения на черноземах южных оренбургского Предуралья // Известия ОГАУ. 2017. № 37(1). С. 27–30.
9. Павловская Н. Е., Бородин Д. Б., Гагарина И. Н. Исследование влияния микроудобрения «нанокремний» и нового биопрепарата на рост и развитие ячменя // Вестник аграрной науки. 2019. № 1(76). С. 37–43. <http://dx.doi.org/10.15217/48484>.
10. Петрова М. В., Толорая Т. Р. Влияние предпосевной обработки семян протравителями и комплексными водорастворимыми удобрениями на продуктивность кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2017. № 49(1). С. 66–70.
11. Рагимов А. О. Влияние рельефа на распределение агрохимических свойств дерново-подзолистей почвы: сб. статей «Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса». Т. 2. Суздаль-Иваново, изд-во: ФГБНУ «Всероссийский институт агропромышленного комплекса». 2020. С. 43–46.
12. Стифеев А. И., Бессонова Е. А., Никитина О. В., Лукьянов В. А., Судженко Е. Н. Состояние почв Российской Федерации и основные направления стабилизации и повышения их плодородия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1. С. 1–3.
13. Azarenko Yu. A. Assessing the Fund of Strongly Bound and Mobile Forms of Zinc in the soils of agrocenoses in the forest-steppe and steppe zones of the Omsk Irtysh Land // Annals of Biology. 2019. Vol. 35(1), P. 67–72. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10203.

References

1. Borisova T. G. Effektivnost' primeneniya i vostrebovannost' regulyatorov rosta Tsirkona, Epina-Ekstra i mikroudobrenii v tekhnologii vyrashchivaniya zernovykh kul'tur [Efficiency of application and demand for growth regulators 'Zircon', 'Epina-Extra' and microfertilizers in the cultivation technology of grain crops] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 49(1). С. 70–72.
2. Gasanov G. N., Arslanov M. A. O sistemakh soderzhaniya pochv v irrigatsionnykh agrolandshaftakh i ikh klassifikatsii [Soil maintenance systems in irrigated agrolandscapes and their classification] // Zemledelie. 2017. № 1. С. 21–24.
3. Glazunov G. P., Afonchenko N. V., Zolotukhin A. N. Prostranstvennaya neodnorodnost' pokazatelei plodorodiya chernozemnykh pochv v sklonovykh agrolandshaftakh TsChR [Spatial heterogeneity of blackearth fertility indicators in slope agricultural landscapes of the Central Blackearth Region] // Zemledelie. 2021. № 7. С. 3–9. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-7-3-9.
4. Drepa E. B., Pshenichnyi R. N., Ponomarenko M. V. i dr. Rol' stimulyatora rosta i mikroudobrenii v formirovanii produktivnosti ozimoi pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh [The role of a growth stimulator and microfertilizers in the formation of winter wheat productivity in arid conditions] // Zemledelie. 2021. № 3. С. 23–26. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10305.
5. Zykova I. D., Efremov A. A., Gerasimov V. S., Leshok A. A. Osobennosti nakopleniya makro- i mikroelementov v nadzemnoi chasti *Filipendula Ulmaria* (L) Makhim v raznye fenologicheskie fazy [Features of the accumulation of macro- and microelements in the aerial part of *Filipendula Ulmaria* (L)]

Maxim in different phenological phases] // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2013. № 2. S. 189–193. DOI: 10.14258/jcprm.1302189.

6. Kakushkina M.A., Kulikova Ya. A., Aleksashina E. S., Borovikova O.V. Prirodno – istoricheskie i ekonomicheskie predposylki formirovaniya agropromyshlennogo kompleksa Tsentral'no-Chernozemnogo raiona [Natural and historical, and economic prerequisites for the formation of the agro-industrial complex of the Central – Blackearth region] // *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*. 2022. № 2(89). S. 52–57. DOI: 10.37493/2307-907X.2022.2.7.

7. Lukin S.V., Kunitsin D.A., Pirozhenko V.V., Siskevich Yu. I., Badin A.E. Monitoring sodержaniya sery i mikroelementov v pochvakh Tsentral'no-Chernozemnogo raiona Rossii [Monitoring of the content of sulfur and microelements in the soil of the Central Blackearth region of Russia] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022. T. 36, № 1. S. 4–7. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_1_4.

8. Mitrofanov, D.V. Povyshenie plodorodiya pochvy i puti ego sberezheniya na chernozemakh yuzhnykh orenburgskogo Predural'ya [Improving soil fertility and ways to save it on the blackearth of the southern Orenburg Pre-Urals] // *Izvestiya OGAU*. 2017. № 37(1). S. 27–30.

9. Pavlovskaya N.E., Borodin D.B., Gagarina I.N. Issledovanie vliyaniya mikroudobreniya «nanokremnii» i novogo biopreparata na rost i razvitie yachmenya [Study of the effect of a microfertilizer “nanosilicon” and a new biological product on barley growth and development] // *Vestnik agrarnoi nauki*. 2019. № 1(76). S. 37–43. <http://dx.doi.org/10.15217/48484>.

10. Petrova M.V., Toloraya T.R. Vliyanie predposevnoi obrabotki semyan protravivatelyami i kompleksnymi vodorastvorimymi udobreniyami na produktivnost' kukuruzy [The effect of pre-sowing treatment of seeds with disinfectants and complex water-soluble fertilizers on maize productivity] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2017. № 49(1). S. 66–70.

11. Ragimov A.O. Vliyanie rel'efa na raspredelenie agrokhimicheskikh svoystv dernovo-podzolistoi pochvy: sbornik statei «Sovremennye tendentsii v nauchnom obespechenii agropromyshlennogo kompleksa» [The effect of a land relief on the distribution of agrochemical properties of soddy-podzolic soil], T. 2. Suzdal'-Ivanovo, izd-vo: FGBNU «Verkhnevolzhskii FANTs». 2020. S. 43–46.

12. Stifeev A.I., Bessonova E.A., Nikitina O.V., Luk'yanov V. A., Sudzhenko E.N. Sostoyaniye pochv rossiiskoi Federatsii i osnovnye napravleniya stabilizatsii i povysheniya ikh plodorodiya [The state of the soils of the Russian Federation and the main directions for stabilizing and increasing their fertility] // *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2015. № 1. S. 1–3.

13. Azarenko Yu. A. Assessing the Fund of Strongly Bound and Mobile Forms of Zinc in the soils of agrocenoses in the forest-steppe and steppe zones of the Omsk Irtysh Land // *Annals of Biology*. 2019. Vol. 35(1), P. 67–72. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10203.

Поступила: 12.04.23; доработана после рецензирования: 18.05.23; принята к публикации: 19.05.23.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью полное право и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Митрохина О. А. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.