

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1262

EDN: TNCCEA

УДК 616-08:616-006



Научная статья

ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТНЫХ ФОРМ УДОБРЕНИЙ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ

А.Н. Никольский, Д. В. Бочкарев, В.Д. Бочкарев

Аннотация

Обоснование. Впервые в условиях юга лесостепи Нечернозёмной зоны на оподзоленных чернозёмах разработаны регламенты применения хелатных форм микроэлементов в виде листовых подкормок. Исследования проводились на сортах среднеранней (Гала) и средней (Санте) групп спелости картофеля. Эти группы являются наиболее распространёнными в регионе и занимают наибольшие площади товарных посадок.

Цель – определить влияние листовых подкормок хелатными формами меди и железа на элементы структуры продуктивности картофеля, урожайность товарной продукции и качественные показатели сортов картофеля разных групп спелости.

Материалы и методы. Проведён полевой двухфакторный опыт методом рандомизированного блочного плана по определению эффективности хелатных микроудобрений в технологии возделывания картофеля сортов Гала и Санте. Использовались общепринятые методики определения показателей структуры урожая картофеля, содержания крахмала и сырого протеина в клубнях. Дисперсионный анализ влияния вариантов опыта на элементы структуры урожая проводился с помощью пакетов AgroR и ExpDes языка программирования R методом фиксированных эффектов рандомизированного блочного плана.

Результаты. В ходе исследований было установлено, что хелатные формы меди и железа положительно влияют на структуру урожая картофеля сортов Санте и Гала. Применение хелатов меди на сорте Санте привело к увеличению количества клубней на 12% в 2023 году и на 20% в 2024 году, а также повысило среднюю массу клубня и общую массу клубней с куста. Влияние хелата железа оказалось менее выраженным, однако в 2024 году он обеспечил увеличение количества клубней на 16%. На сорте Гала наибольший прирост

количества клубней был достигнут в 2024 году благодаря применению микроэлементов. Увеличение урожайности при использовании микроэлементов сопровождалось снижением содержания крахмала в клубнях и увеличением доли сырого протеина.

Заключение. Полученные результаты подчёркивают важность учёта взаимодействия этих микроэлементов с сортовыми характеристиками и условиями выращивания для повышения урожайности картофеля на юге лесостепной зоны.

Ключевые слова: медь; железо; хелаты; картофель; сорт; урожайность

Для цитирования. Никольский, А. Н., Бочкарев, Д. В., & Бочкарев, В. Д. (2025). Влияние хелатных форм удобрений меди и железа на продуктивность сортов картофеля. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 299-314. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1262>

Original article

THE INFLUENCE OF CHELATED FORMS OF COPPER AND IRON FERTILIZERS ON THE PRODUCTIVITY OF POTATO VARIETIES

A.N. Nikolskii, D. V. Bochkarev, V.D. Bochkarev

Abstract

Background. For the first time in the southern part of the forest-steppe of the Non-Chernozem Zone on podzolized chernozems, regulations have been developed for the application of chelated forms of micronutrients as foliar fertilizers. The research was conducted on varieties from the medium-early (Gala) and medium (Sante) maturity groups of potatoes. These groups are the most common in the region and occupy the largest areas of commercial plantings.

Purpose. To determine the effect of foliar applications of copper and iron chelates on the elements of potato productivity structure, marketable yield, and quality indicators of different maturity group varieties.

Materials and methods. A two-factor field experiment using a randomized block design was carried out to assess the effectiveness of chelate-based microfertilizers in the cultivation technology of Gala and Sante potato varieties. Standard methods were used to determine crop structure parameters, starch content, and crude protein levels in tubers. Analysis of variance for the impact of experimental variants on crop structure elements was performed using the AgroR and ExpDes packages in the R programming language with fixed effects of the randomized block plan

Results. The study found that chelated forms of copper and iron positively affect the yield structure of Sante and Gala potato varieties. Application of copper chelates to the Sante variety increased the number of tubers by 12% in 2023 and by 20% in 2024, while also increasing the average weight per tuber and total mass of tubers per plant. The influence of iron chelates was less pronounced, but in 2024 it led to a 16% increase in the number of tubers. For the Gala variety, the greatest increase in the number of tubers was achieved in 2024 due to the use of micronutrients. Increased yields resulting from the use of micronutrients were accompanied by a decrease in starch content in tubers and an increase in crude protein content.

Conclusion. The results highlight the importance of considering the interaction between these micronutrients, varietal characteristics, and growing conditions to improve potato yields in the southern forest-steppe zone.

Keywords: copper; iron; chelates; potatoes; variety; yield

For citation. Nikolskii, A. N., Bochkarev, D. V., & Bochkarev, V. D. (2025). The influence of chelated forms of copper and iron fertilizers on the productivity of potato varieties. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 299-314. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1262>

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) занимает четвертое место в мире по потребляемости продуктов питания после риса, пшеницы и кукурузы [15]. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО) площадь посадок картофеля в мире составляет порядка 18 млн га [11].

Посевные площади под картофелем в Российской Федерации на 2023 г составляют чуть более 1 млн га. Валовый сбор культуры при этом составляет 8,6 млн т. [1]. Стабильное развитие отрасли может позволить достигнуть важной стратегической цели – обеспечение продовольственной независимости и возможной переориентации на экспорт [2].

Картофель – легко адаптируемая и высокоурожайная культура которая может возделываться в различных природно-экономических условиях [20]. Существует значительный потенциал для увеличения производства картофеля за счет оптимизации технологии возделывания [12; 16; 18]. Внесение удобрений увеличивает размер и массу клубней, уменьшает количество нетоварной продукции. Поэтому актуальны исследования по выявлению необходимого количества и распределения питательных веществ [7].

Микроэлементы регулируют важнейшие физиологические процессы в организме растений. Железо требуется растениям в небольших коли-

чествах, хотя оно играет важную роль в фотосинтетическом транспорте электронов, образовании хлорофилла, ассимиляции, поглощении и транслокации азота [8; 19; 21].

Растения используют Cu в качестве кофактора для широкого спектра белков, участвующих в нескольких физиологических процессах, включая фотосинтез, митохондриальное дыхание, углеводный обмен, образование фенольных соединений в ответ на атаку патогенов, удаление супероксида, ремоделирование клеточной стенки и восприятие этилена. Большинство Cu-белков (~90%) в природе функционируют как оксидоредуктазы [13; 14]. Cu является частью комплекса дыхательной цепи митохондрий и, таким образом, участвует в метаболических путях, обеспечивающих энергию для клеточных процессов [17].

Установлено положительное влияние микроудобрений на рост и развитие картофеля в различных почвенно-климатических регионах России и сопредельных государств. В опытах С.Н. Нековаль и соавт. установлена высокая эффективность препарата Блю Шилд 20, ВДГ (308 г/кг меди гидроокись) в норме 2 кг/га сдерживало распространение фитофтороза на 10-15% а развитие патогена более чем в 2 раза по сравнению с необработанными участками. При этом увеличение урожайности составило 0,7 кг/куст [5].

Применение комплексного микроудобрения «Ультрамаг Комби» совместно с регуляторами роста существенно увеличивало площадь ассимиляционной поверхности листьев, число стеблей и листьев куста картофеля и фотосинтетический потенциал посадок [3]. В.А. Шадских и соавт. отмечают что внесение микроудобрений Mo, Zn, Cu, и Mn по вегетации в условиях Саратовской области позволяет получить урожай картофеля 55-60 т/га [6]. В условиях Белоруссии применение комплексного органоминерального удобрения Нутривант стим содержащего медь, марганец, цинк и молибден по фону $N_{70}P_{80}K_{120}$ увеличивало урожайность культуры, при этом не вызывая значимого содержания крахмала в клубнях [4].

В тоже время в условиях юга лесостепи Нечерноземной зоны подобных исследований не проводилось, что и послужило отправной точкой наших исследований.

Материалы и методы

Полевой двухфакторный опыт по влиянию хелатных форм меди и железа на урожайность и товарные качества сортов картофеля был проведен в 2023-2024 г. Место проведения исследований – Мордовская государственная со-

ртноиспытательная станция (Республика Мордовия, г Саранск, Октябрьский р-н, село Макаровка). Опыт включал в себя следующие варианты

Фактор А – сорт. 1) Санте, среднеспелый сорт (оригинатор NORIKA GMBH (Германия)); 2) Гала, среднеранний сорт (оригинатор «Agrico U. A.» (Нидерланды))

Фактор В – хелатные формы микроудобрений 1) Контроль (Без обработки удобрениями); 2) Листовое внесение хелата железа (2 л/га); 3) Листовое внесение хелата меди (2 л/га).

Хелатная форма на основе этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) содержала 15 % меди и 13 % железа. Норма расхода рабочего раствора 300 л/га. Листовую подкормку микроэлементами проводили в фазу полного смыкания междурядий (ВВСН 38-39).

Почва опытного участка, характеризовалась средним содержанием подвижного фосфора (115 мг/кг) и обменного калия (142 мг/кг) средней гидролитической кислотностью ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5,4$), высокой суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности ими ($S - 7,3$ мг-экв./100 г почвы, $V - 72,8\%$).

Условия вегетации 2023 г. отличались большим количеством осадков (253 мм) и высокой суммой активных температур (2319 °С). 2024 г. характеризовался как среднезасушливый (сумма осадков за вегетацию – 148 мм) и недостаточно теплообеспеченный (сумма активных температур – 1894 °С)

Обработка почвы состояла в осенней вспашке и предварительном нарезании гребней весной при достижении физиологической спелости почвы. Под вспашку вносили полное минеральное удобрение в дозе $\text{N}_{20}\text{P}_{64}\text{K}_{64}$. Схема посадки – 75 × 30 см, расчетная густота стояния растений – 45 тыс. шт./га. Посадку производили во второй декаде мая. Фоновая система защиты картофеля состояла из обработки по вегетации фунгицидом Металаксил (манкоцеб, 640 г/кг + металаксил, 80 г/кг), инсектицидом Танрек (имидаклоприд, 200 г/л). Для защиты от сорняков применяли довсходовый гербицид Гамбит (прометрин, 500 г/л) и повсходовый гербицид Лазурит Супер (метрибузин, 270 г/л). Уборку клубней проводили в первой декаде сентября.

Опыт заложен медом расщепленных делянок. Площадь опытной делянки второго порядка 210 м² (30х7 м). Повторность опыта – трехкратная. Учет и структуру урожая клубней картофеля проводили для каждой делянки, взвешивая товарные и нетоварные фракции отдельно. Количество клубней в кусте и массу с 1 куста проводили по 10 случайно выбранным с каждого повторения растениям.

Сухое вещество картофеля определяли весовым методом. Определение содержания крахмала проводили поляриметрическим методом на колори-

метре портативном П–161. Содержание сырого протеина устанавливали по ГОСТ 13496.4-2019 на приборе «Кельтран» (ООО ВПК «СибАгроПРИ-БОР», Россия).

Дисперсионный анализ влияния вариантов опыта на элементы структуры урожая проведен при помощи пакетов AgroR и ExpDes языка программирования R методом фиксированных эффектов рендомизированного блочного плана (randomized block design) [9; 10].

Результаты исследований

Структура урожая картофеля определяется количеством клубней в кусте, средней массой клубня и отдельным кустом. Наши исследования показали положительное влияние хелатных форм меди и железа на структуру урожая картофеля. Так, на сорте Сантае применение хелата меди привело к увеличению числа клубней под растением на 12% относительно контроля в 2023 году и на 20% в 2024 году (табл. 1).

Таблица 1.

Влияние микроэлементов меди и железа на структуру урожая картофеля

Вариант опыта		2023 г.			2024 г.		
Сорт Фактор А	Удобрение Фактор В	количество клубней / куст	масса 1 клубня, г	масса 1 куста, г	количество клубней / куст	масса 1 клубня, г	масса 1 куста, г
Сантае	без удобрений	8,2	128,5	1056	6,4	191,7	1229
	хелат железа	8,1	135,6	1100	7,4	198,4	1471
	хелат меди	9,3	143,9	1343	7,7	189,0	1220
Гала	без удобрений	9,3	88,2	824	6,7	137,3	910
	хелат железа	8,9	94,9	843	8,7	125,7	1074
	хелат меди	8,4	106,4	899	9,1	146,8	1337
Среднее по фактору А							
Сантае		8,5	136,0 ^а	1166 ^а	7,2	193,0 ^а	1306 ^а
Гала		8,9	96,5 ^б	855 ^б	8,1	136,6 ^б	1107 ^б
Среднее по фактору В							
без удобрений		8,8	108,4	940 ^б	6,6 ^б	164,5	1069 ^б
хелат железа		8,5	115,3	972 ^б	8,1 ^а	162,0	1272 ^а
хелат меди		8,9	125,2	1121 ^а	8,4 ^а	167,9	1278 ^а
<i>HCP₀₅ ч.р</i>		$F_{ф} < F_{05}$	18,76	175,3	1,93	26,27	233,4

Результаты, полученные на делянках с внесением хелата железа, оказались неоднозначными: в 2023 году наблюдалось незначительное снижение количества клубней, тогда как в 2024 году отмечен рост на 16%.

На сортах Гала была выявлена другая тенденция. Максимальное количество клубней на контроле зафиксировано в 2023 году, а в 2024 году внесение микроэлементов значительно увеличило этот показатель на 29–35%.

Стоит отметить, что существенных сортовых различий в ходе исследований выявлено не было.

Средняя масса клубня сорта Санте в 2023 году при внесении хелата меди увеличилась на 12%, а общая масса клубней с куста – на 27%. На сорте 'Гала' эти показатели выросли на 20% и 9% соответственно. Эффективность применения микроудобрений железа оказалась ниже, чем у медных микроудобрений. Средняя масса клубня на Санте была выше на 40–42%. Этот сорт также отличался более высокой общей массой клубней с растения: в 2023 году – на 36% по сравнению с Гала, в 2024 году – на 17%.

В 2024 году средняя масса клубня на варианте с хелатом меди снизилась на 1%, а общая масса клубней с куста составила 2% по сравнению с контролем. Хелат железа достоверно увеличивал эти показатели. На сорте Гала средняя масса клубня от применения микроэлементов выросла на 7%, а общая масса клубней с куста – на 47%. Применение хелата железа на этом сорте привело к незначительному снижению показателей продуктивности.

В среднем по фактору сорта установлены достоверные различия между вариантами: Санте отличался большими размерами клубней и их массой с отдельного куста. Хелатные соединения достоверно увеличивали лишь последнюю характеристику, не влияя на массу клубня.

Полученные данные свидетельствуют о том, что хелатные формы меди и железа оказывают разное влияние на структуру урожая картофеля, которое во многом зависит от сорта и условий вегетации. Однако наблюдается положительная тенденция увеличения отдельных показателей структуры, особенно заметная при применении хелата меди в 2023 году и хелата железа в 2024 году на сорте Санте.

Для оценки влияния микроэлементов на продуктивность картофеля необходимо учитывать урожайность отдельных фракций (таблица 2).

В среднем по фактору сорта урожайность Санте была достоверно выше на 18–35% в зависимости от года. Применение микроэлементов также существенно увеличивало урожайность по сравнению с контролем. В 2023 году наибольшая урожайность наблюдалась при обработке хелатом меди, а в 2024 году – хелатом железа. Различия между этими микроэлементами были незначительными.

Наибольшая биологическая урожайность товарного картофеля сорта Санте была зафиксирована в 2023 году на варианте с обработкой вегети-

рующих растений хелатом меди – на 6,4 т (14%) больше по сравнению с контролем. Меньший прирост был получен от применения хелата железа – 1,3 т/га (6%). На сорте Гала максимальная урожайность в 2023 году также была достигнута на варианте с хелатом меди. Прирост составил 3,4 т/га (10% по сравнению с контролем). В 2024 году увеличение урожайности на этом сорте оказалось значительнее – 28% при обработке хелатом меди и 16% при обработке хелатом железа.

Таблица 2.

**Влияние микроэлементов меди и железа на продуктивность
и фракционный состав урожая картофеля**

Вариант опыта		2023 г.		2024 г.	
Сорт Фактор А	Удобрение Фактор В	урожайность товарных клубней , т/га	урожайность нетоварных клубней , т/га	урожайность товарных клубней , т/га	урожайность нетоварных клубней , т/га
Санте	без удобрений	43,7	3,80	41,5	4,81
	хелат железа	45,0	4,46	46,8	6,46
	хелат меди	50,1	4,96	41,8	6,12
Гала	без удобрений	31,5	5,57	30,6	4,40
	хелат железа	33,4	4,55	38,4	6,29
	хелат меди	37,7	2,84	43,7	6,48
Среднее по фактору А					
Санте		46,3 ^a	4,40	43,4 ^a	5,79
Гала		34,2 ^b	4,32	37,6 ^b	5,72
Среднее по фактору В					
без удобрений		37,7 ^b	4,68 ^a	36,1 ^b	4,60 ^b
хелат железа		39,2 ^b	4,50 ^a	42,5 ^a	6,37 ^a
хелат меди		43,9 ^a	3,90 ^b	42,8 ^a	6,30 ^a
<i>НСР₀₅ ч.р</i>		4,49	0,44	4,43	0,65

Следует отметить, что в благоприятных с точки зрения климатических условий микроэлементы снижают урожайность нетоварной продукции, тогда как в более стрессовых условиях одновременно с увеличением урожайности товарной продукции микроэлементы повышают и урожайность нетоварной продукции.

Содержание сухого вещества изменялось в зависимости от года проведения исследований. В среднем в 2023 году оно составило 23,9%, а в 2024 году – 26,6%. Сортвые особенности проявлялись в накоплении сухого вещества в 2023 году. Было отмечено достоверное увеличение этого показателя на сорте Санте. Применение хелатных форм микроэлементов вызывало значительные колебания содержания сухого вещества в клубнях

картофеля. В 2023 году хелат меди существенно снижал этот показатель, однако в более засушливый 2024 год использование меди увеличило содержание сухого вещества на 8% по сравнению с контролем. Хелат железа во все годы исследования хоть и снижал содержание сухого вещества, но уменьшение было незначительным по сравнению с контролем.

Таблица 3.

Влияние микроэлементов меди и железа на содержание сухого вещества и крахмала, % на естественную влажность

Вариант опыта		2023 г.			2024 г.		
сорт Фактор А	удобрение Фактор В	сухое ве- щество, %	крахмал, %	сырой про- теин, %	сухое ве- щество, %	крахмал, %	сырой протеин, %
Санте	без удобрений	26,5	16,6	3,57	26,8	17,3	5,16
	хелат железа	25,1	14,2	3,92	25,6	13,7	5,35
	хелат меди	24,1	13,6	4,27	29,2	18,1	5,04
Гала	без удобрений	23,3	13,7	4,12	26,2	15,1	6,43
	хелат железа	22,9	12,5	4,99	23,2	12,9	6,50
	хелат меди	21,4	13,6	4,34	28,7	18,2	4,69
Среднее по фактору А							
Санте		25,2 ^a	14,8 ^a	3,92 ^b	27,2	16,4	4,22
Гала		22,5 ^b	13,2 ^b	4,49 ^a	26,0	15,4	4,27
Среднее по фактору В							
контроль (без удобрений)		24,9 ^a	15,1 ^a	3,85 ^b	26,5 ^b	16,2 ^b	4,28 ^a
хелат железа		24,0 ^a	13,2 ^b	4,46 ^a	24,4 ^b	13,3 ^c	3,96 ^b
хелат меди		22,7 ^b	13,6 ^b	4,31 ^{ab}	28,9 ^a	18,1 ^a	4,50 ^a
<i>НСР₀₅ ч.р</i>		1,57	1,75	0,653	3,04	2,24	0,949

Уровень содержания крахмала в наших исследованиях коррелировал с содержанием сухого вещества. Закономерности накопления крахмала в зависимости от условий вегетации аналогичны закономерностям накопления сухого вещества.

Содержание крахмала в картофеле существенно варьировалось в зависимости от сорта. В среднем сорт Гала уступал Санте на 0,7–1,2%, значимые различия были установлены только в 2023 году.

Рост урожайности культуры при использовании хелатов меди и железа в 2023 году привел к незначительному, но достоверному снижению содержания крахмала на 6–9%. В то же время в условиях 2024 года хелат меди в среднем увеличивал этот показатель на 0,5% по сравнению с контролем. Применение хелата железа в 2024 году значительно снизило содержание крахмала – на 0,8% относительно контроля и на 1,3% по сравнению с хелатом меди.

Содержание сырого протеина в наших исследованиях отрицательно коррелировало с накоплением крахмала в клубнях. В среднем применение хелата меди увеличивало накопление протеина в 2023 году на 12%, а хелата железа – на 16%. В 2024 году применение железа достоверно снижало содержание протеина по сравнению с контролем и медью. Сорт ‘Гала’ во все годы исследований отличался несколько большим содержанием протеина в клубнях по сравнению с Санте.

Заключение

Исследования показали, что хелатные формы меди и железа положительно влияют на структуру урожая картофеля сортов Санте и Гала. Внесение хелата меди на сорте Санте увеличило количество клубней на 12% в 2023 году и на 20% в 2024 году, а также среднюю массу клубня и общую массу клубней с куста. Эффект от хелата железа оказался менее устойчивым, хотя в 2024 году он привел к росту количества клубней на 16%. На сорте Гала наибольший прирост количества клубней был достигнут в 2024 году при использовании микроэлементов. Оба микроэлемента способствовали увеличению ключевых показателей структуры урожая, подтверждая важность учета их взаимодействия с сортовыми особенностями и условиями выращивания для повышения урожайности картофеля.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта проведения научных исследований № 123033000029-7 «Разработка подходов получения отечественных аналогов кормовых добавок и удобрений на основе микроэлементов и совершенствование технологии их применения в животноводстве и растениеводстве».

Список литературы

1. Бутов, И. С. (2023). Рост и перспективы: овощеводство и картофелеводство России в 2023 году. *Картофель и овощи*, (11), 3–6. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.61.50.001>. EDN: <https://elibrary.ru/PCDHF1>
2. Бутов, И. С. (2024). Овощеводство и картофелеводство России: итоги 2023 года. *Картофель и овощи*, (1), 8–11. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.82.13.007>. EDN: <https://elibrary.ru/ZFFFBR>

3. Икоева, Л. П., & Хаева, О. Э. (2021). Влияние регулятора роста «Регоплант» и микроудобрения «Ультрамаг Комби» на фотосинтетическую деятельность картофеля в лесостепной зоне РСО-Алания. *Аграрный вестник Урала*, (7(210)), 55–65. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-210-07-55-65>. EDN: <https://elibrary.ru/VBDOUX>
4. Ионас, Е. Л. (2024). Влияние комплексных удобрений и регуляторов роста на урожайность, качество и химический состав клубней картофеля. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, (2), 112–116. EDN: <https://elibrary.ru/LUOSUQ>
5. Нековаль, С. Н., Беляева, А. В., Садовая, А. Е., & Федорянская, И. С. (2020). Эффективность нового медьсодержащего фунгицида против возбудителя фитофтороза картофеля. *Достижения науки и техники АПК*, 34(11), 48–52. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11107>. EDN: <https://elibrary.ru/TYNTTB>
6. Шадских, В. А., Кижяева, В. Е., Пешкова, В. О., & Лукашунас, Ю. А. (2022). Оптимизация использования элементов питания и микроудобрений при возделывании картофеля в орошаемых агроценозах Поволжья. *Орошаемое земледелие*, (4(39)), 58–61. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2022-3-12>. EDN: <https://elibrary.ru/PSFXVJ>
7. Azamshah, S., Mohammad, W., Shahzadi, S., Elahi, R., et al. (2016). The effect of foliar application of urea, humic acid and micronutrients on potato crop. *Iran Agricultural Research*, 35(1), 89–94
8. Borlotti, A., Vigani, G., & Zocchi, G. (2012). Iron deficiency affects nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *BMC Plant Biology*, 12, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-1>. EDN: <https://elibrary.ru/RJYAKT>
9. Dunn, P. K., & Smyth, G. K. (2018). *Generalized linear models with examples in R*. New York: Springer. 53, 16. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0118-7>
10. Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., & Nogueira, D. A. (2014). ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. *Applied Mathematics*, 5(19), 2952. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
11. *FAO Statistical Database (FAOSTAT)*. Retrieved from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (дата обращения: [укажите дату])
12. Jia, L., Yang, C. H., Qin, Y. L., Liang, R. F., Cui, S. X., et al. (2018). Potato yield gaps across the rainfed Yin-mountain Hilly Area of China. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2418–2425. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61969-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61969-X)
13. Kumar, V., Pandita, S., Sidhu, G. P., Sharma, A., et al. (2021). Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. *Che-*

- mosphere*, 262, 127810. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>. EDN: <https://elibrary.ru/WQHUNT>
14. Lange, B., van Der Ent, A., Baker, A. J., Echevarria, G., et al. (2017). Copper and cobalt accumulation in plants: a critical assessment of the current state of knowledge. *New Phytologist*, 213(2), 537–551. <https://doi.org/10.1111/nph.14381>. EDN: <https://elibrary.ru/YWCNGR>
 15. Liang, Z., Mu, T. H., Zhang, R. F., Sun, Q. H., et al. (2019). Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1), 231–245. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62059-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62059-1)
 16. Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: A review. *Agronomy*, 12(3), 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>. EDN: <https://elibrary.ru/TPWNXG>
 17. Printz, B., Lutts, S., Hausman, J.-F., & Sergeant, K. (2016). Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics. *Frontiers in Plant Science*, 7, 601. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00601>
 18. Wang, Z., Liu, H., Zeng, F. K., Yang, Y. C., et al. (2023). Potato processing industry in China: Current scenario, future trends and global impact. *Potato Research*, 66(2), 543–562. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09588-3>. EDN: <https://elibrary.ru/EJIDRV>
 19. Wang, Y., Xu, C., Li, K., Cai, X., Wu, M., & Chen, G. (2017). Fe deficiency induced changes in rice (*Oryza sativa* L.) thylakoids. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 1380–1388. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8711-z>. EDN: <https://elibrary.ru/YZQWXJ>
 20. Wijesinha-Bettoni, R., & Mouillé, B. (2019). The contribution of potatoes to global food security, nutrition and healthy diets. *American Journal of Potato Research*, 96, 139–149. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09762-x>. EDN: <https://elibrary.ru/IETRBV>
 21. Yoon, H., Kang, Y. G., Chang, Y. S., & Kim, J. H. (2019). Effects of zero-valent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials*, 9(11), 1543. <https://doi.org/10.3390/nano9111543>. EDN: <https://elibrary.ru/IHGWUZ>

References

1. Butov, I. S. (2023). Growth and prospects: vegetable and potato growing in Russia in 2023. *Potato and Vegetables*, (11), 3–6. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.61.50.001>. EDN: <https://elibrary.ru/PCDHFI>

2. Butov, I. S. (2024). Vegetable and potato growing in Russia: results of 2023. *Potato and Vegetables*, (1), 8–11. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.82.13.007>. EDN: <https://elibrary.ru/ZFFFBR>
3. Ikoeva, L. P., & Khaeva, O. E. (2021). Effect of the growth regulator “Regoplant” and the microfertilizer “Ultramag Combi” on the photosynthetic activity of potatoes in the forest-steppe zone of North Ossetia–Alania. *Agrarian Bulletin of the Urals*, (7(210)), 55–65. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-210-07-55-65>. EDN: <https://elibrary.ru/VBDOUX>
4. Ionas, E. L. (2024). Effect of complex fertilizers and growth regulators on the yield, quality, and chemical composition of potato tubers. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, (2), 112–116. EDN: <https://elibrary.ru/LUOSUQ>
5. Nekoval, S. N., Belyaeva, A. V., Sadovaya, A. E., & Fedoryanskaya, I. S. (2020). Efficiency of a new copper-containing fungicide against the causative agent of potato late blight. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 34(11), 48–52. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11107>. EDN: <https://elibrary.ru/TYNTTB>
6. Shadskikh, V. A., Kizhaeva, V. E., Peshkova, V. O., & Lukashunas, Yu. A. (2022). Optimization of nutrient and microfertilizer use in potato cultivation in irrigated agrocenoses of the Volga region. *Irrigated Agriculture*, (4(39)), 58–61. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2022-3-12>. EDN: <https://elibrary.ru/PSFXVJ>
7. Azamshah, S., Mohammad, W., Shahzadi, S., Elahi, R., et al. (2016). The effect of foliar application of urea, humic acid, and micronutrients on potato crop. *Iran Agricultural Research*, 35(1), 89–94.
8. Borlotti, A., Vigani, G., & Zocchi, G. (2012). Iron deficiency affects nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *BMC Plant Biology*, 12, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-1>. EDN: <https://elibrary.ru/RJYAKT>
9. Dunn, P. K., & Smyth, G. K. (2018). *Generalized linear models with examples in R*. New York: Springer. 53, 16. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0118-7>
10. Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., & Nogueira, D. A. (2014). ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. *Applied Mathematics*, 5(19), 2952. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
11. FAO Statistical Database (FAOSTAT). Retrieved from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed: [insert date])
12. Jia, L., Yang, C. H., Qin, Y. L., Liang, R. F., Cui, S. X., et al. (2018). Potato yield gaps across the rainfed Yin mountain Hilly Area of China. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2418–2425. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61969-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61969-X)

13. Kumar, V., Pandita, S., Sidhu, G. P., Sharma, A., et al. (2021). Copper bioavailability, uptake, toxicity, and tolerance in plants: a comprehensive review. *Chemosphere*, 262, 127810. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>. EDN: <https://elibrary.ru/WQHUNT>
14. Lange, B., van der Ent, A., Baker, A. J., Echevarria, G., et al. (2017). Copper and cobalt accumulation in plants: a critical assessment of the current state of knowledge. *New Phytologist*, 213(2), 537–551. <https://doi.org/10.1111/nph.14381>. EDN: <https://elibrary.ru/YWCNGR>
15. Liang, Z., Mu, T. H., Zhang, R. F., Sun, Q. H., et al. (2019). Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1), 231–245. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62059-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62059-1)
16. Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: a review. *Agronomy*, 12(3), 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>. EDN: <https://elibrary.ru/TPWNXG>
17. Printz, B., Lutts, S., Hausman, J.-F., & Sergeant, K. (2016). Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics. *Frontiers in Plant Science*, 7, 601. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00601>
18. Wang, Z., Liu, H., Zeng, F. K., Yang, Y. C., et al. (2023). Potato processing industry in China: current scenario, future trends, and global impact. *Potato Research*, 66(2), 543–562. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09588-3>. EDN: <https://elibrary.ru/EJIDRV>
19. Wang, Y., Xu, C., Li, K., Cai, X., Wu, M., & Chen, G. (2017). Fe deficiency induced changes in rice (*Oryza sativa* L.) thylakoids. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 1380–1388. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8711-z>. EDN: <https://elibrary.ru/YZQWXJ>
20. Wijesinha-Bettoni, R., & Mouillé, B. (2019). The contribution of potatoes to global food security, nutrition and healthy diets. *American Journal of Potato Research*, 96, 139–149. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09762-x>. EDN: <https://elibrary.ru/IETR BV>
21. Yoon, H., Kang, Y. G., Chang, Y. S., & Kim, J. H. (2019). Effects of zero-valent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials*, 9(11), 1543. <https://doi.org/10.3390/nano9111543>. EDN: <https://elibrary.ru/IHGWUZ>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Никольский Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

*ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация
alnik1986@gmail.com*

Бочкарев Дмитрий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук профессор кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

*ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация
bochkarevdv@yandex.ru*

Бочкарев Владимир Дмитриевич, лаборант-исследователь кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

*ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация
kafedra_paz@agro.mrsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr N. Nikolskii, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Department of Agronomy and Landscape Architecture

National Research Mordovia State University

68, Bolshevistskaya Str., Saransk Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation

alnik1986@gmail.com

SPIN-code: 4627-8884

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-7792>

Dmitrii V. Bochkarev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Agronomy and Landscape Architecture

National Research Mordovia State University

68, *Bolshevistskaya Str., Saransk Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation*

bochkarevdy@yandex.ru

SPIN-code: 4627-8884

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9165-3634>

Vladimir D. Bochkarev, Research Assistant at the Department of Agronomy and Landscape Architecture

National Research Mordovia State University

68, Bolshevistskaya Str., Saransk Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation

kafedra_paz@agro.mrsu.ru

SPIN-code: 9451-4400

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0893-4179>

Поступила 15.01.2025

После рецензирования 05.03.2025

Принята 11.03.2025

Received 15.01.2025

Revised 05.03.2025

Accepted 11.03.2025