

УДК 631.1:631.582:631.816
EDN BXHJTS<http://vestnikniig.ru>*Научная статья*

АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ

А. А. Артемьев¹✉, И. П. Лаптев²¹ Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства —
филиал Федерального аграрного научного центра Северо-Востока,
г. Саранск, Россия² Научно-исследовательский институт гуманитарных наук
при Правительстве Республики Мордовия,
г. Саранск, Россия✉ artemjevaa@yandex.ru

Аннотация

Введение. Современная стратегия социально-экономической политики России предусматривает в качестве приоритета в АПК импортозамещение и наращивание экспортных возможностей отрасли. При решении данного вопроса предпочтение отдается разработке отечественных ресурсосберегающих технологий. Развитие данного направления в аграрной науке получило название *точное земледелие*, реализация которого в сельскохозяйственном производстве требует проведения комплексных исследований по использованию средств химизации и оценке их эффективности.

Материалы и методы. Агроэкономическая оценка разных технологий применения минеральных удобрений в полевом севообороте проводилась на базе стационарного опыта Мордовского НИИСХ — филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Оценивались три варианта — контрольный, традиционное и дифференцированное внесение удобрений. Изыскания выполнялись по общепринятым методикам.

Результаты исследования и их обсуждение. Разные технологии внесения удобрений оказали достоверное влияние на продуктивность севооборота. Общий сбор зерновых единиц в среднем за две ротации севооборота в варианте с дифференцированными дозами был выше, чем при внесении усредненных доз и в контроле. Оценка агрономической эффективности показала, что окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений при точном внесении удобрений была на 21,3 % выше, чем при традиционной технологии. Аналогичная закономерность наблюдалась и при расчете экономической эффективности, где окупаемость затрат на приобретение 1 кг удобрения стоимостью прибавки урожая оказалась выше по сравнению с традиционным применением.

Заключение. Результаты исследований являются научным обоснованием для использования дифференцированных доз минеральных удобрений в условиях лесостепи Поволжья. Такая технология позволяет повысить среднегодовую продуктивность севооборота, окупаемость 1 кг д. в. удобрений и затрат на их приобретение.

Ключевые слова: продуктивность севооборота, дифференцированные дозы, усредненные дозы, агрономическая эффективность, экономическая эффективность

Финансирование: работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0005, пер. № 1021060407720-0).

© Артемьев А. А., Лаптев И. П., 2024

Для цитирования: Артемьев А. А., Лаптев И. П. Агрэкономическая эффективность дифференцированного применения минеральных удобрений в полевом севообороте // Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия. 2024. Т. 16, № 2. С. 28 — 40. EDN BXHJTS

Original article

AGRONOMIC AND ECONOMIC EFFICIENCY OF DIFFERENTIATED APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS IN CROP ROTATION FIELD

A. A. Artemyev¹✉, I. P. Laptev²

¹ Mordovia Research Agriculture Institute — Branch of the Federal Agrarian Research Center of the North-East,
Saransk, Russia

² Research Institute of the Humanities by the Government of the Republic of Mordovia,
Saransk, Russia
✉artemjevaa@yandex.ru

Abstract

Introduction. The modern strategy of Russia's social and economic policy provides for import substitution and increasing the industry's export capabilities as a priority in the agro-industrial complex. When solving this issue, preference is given to the development of domestic resource-saving technologies. The development of this direction in agricultural science is called precision farming, the implementation of which in agricultural production requires comprehensive research on the use of chemicals and evaluation of their effectiveness.

Materials and methods. An agronomic and economic assessment of different technologies for the use of mineral fertilizers in crop rotation field was carried out at the Mordovia Research Agriculture Institute — branch of the Federal Agrarian Research Center of the North-East. Three options were evaluated: control, traditional and differentiated application of fertilizers. The surveys were carried out using generally accepted methods.

Results and discussion. Different technologies for applying fertilizers had a significant impact on the productivity of crop rotation. The total harvest of grain units on average for two crop rotations in the variant with differentiated doses was higher than when applying average doses and in the control. An assessment of agronomic efficiency showed that the payback of 1 kg of active fertilizer substance with precise fertilizer application was 21.3% higher than with traditional technology. A similar pattern was observed when calculating economic efficiency, where the return on the cost of purchasing 1 kg of fertilizer with the cost of increasing the yield turned out to be higher compared to traditional use.

Conclusion. The research results provide a scientific basis for the use of differentiated doses of mineral fertilizers in the forest-steppe conditions of the Volga region. This technology makes it possible to increase the average annual productivity of crop rotation, the payback of 1 kg of the active substance of fertilizers and the payback of the cost of their acquisition.

Keywords: crop rotation productivity, differentiated doses, average doses, agronomic efficiency, economic efficiency

Funding: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agrarian Research Center of the North-East (theme FNWE-2022-0005, reg. No. 1021060407720-0).

For citation: Artemyev AA, Laptev IP. Agronomic and Economic Efficiency of Differentiated Application of Mineral Fertilizers in Crop Rotation Field. *Bulletin of the Research Institute of the Humanities by the Government of the Republic of Mordovia.* 2024;16(2):28—40. EDN BXHJT

Введение

В числе основных причин невысокой урожайности зерновых культур и их низкого качества в Российской Федерации остается неоднородность плодородия полей, связанная как с генетическими особенностями почвы, рельефом местности, так и с длительным антропогенным воздействием вследствие бессистемного и безадресного применения агрохимических средств производства и внесения органических удобрений. Из-за этого складываются разные условия роста и развития растений, что в дальнейшем влияет на результат производственной деятельности.

Современная стратегия социально-экономической политики Российской Федерации предусматривает доведение объемов производства сельскохозяйственной продукции до уровня национальной безопасности. На этом фоне в качестве приоритетных целей в агропромышленном комплексе (АПК) обозначены импортозамещение и наращивание экспортных возможностей отрасли [13; 17]. В научном плане приоритет отводится разработке ресурсосберегающих технологий, основанных на дифференцированном использовании техногенных, природных и экономических ресурсов.

Развитие данного направления аграрной науки, получившего во всем мире название *точное (прецизионное, координатное) земледелие*, обеспечивает создание перспективных технологий производства растениеводческой продукции [14; 22]. В его основе лежит экономически и экологически выгодное использование сельскохозяйственных площадей, при котором для получения с каждого конкретного поля максимального количества качественной и наиболее дешевой продукции создаются оптимальные условия роста и развития растений без нарушения экологических норм [6; 18; 19]. При этом варьирование внутрипольных показателей почвенного плодородия и фитосанитарного состояния посевов можно снизить за счет точного воздействия на каждый участок поля. Такой способ использования земель позволит оптимизировать производственные издержки и одновременно снизить негативные воздействия на окружающую среду [9; 20; 27].

Существующие традиционные методы применения минеральных удобрений основаны на внесении их со средней дозой по всему полю. Такой подход при неблагоприятных почвенно-климатических условиях приводит к снижению эффективности производства, повышению опасности загрязнения и разрушения природной среды. Дифференцированное же внесение удобрений позволяет преодолеть эти недостатки, повысить результативность сельского хозяйства и рационально использовать средства химизации [21; 23].

Вместе с тем реализовать основу прецизионного земледелия в сельскохозяйственное производство без комплексных и глубоких исследований невозможно. Кроме того, для его освоения в части дифференцированного применения удобрений требуется оценка их эффективности в конкретных почвенно-климатических и хозяйственно-экономических условиях, так как традиционные установки по оптимизации доз удобрений под сельскохозяйственные культуры основываются на слишком обобщенных данных.

Материалы и методы

Для выявления агрономической и экономической целесообразности дифференцированного использования минеральных удобрений с учетом внутрипольной вариативности почвенного плодородия на базе Мордовского НИИСХ — филиала

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока были проведены соответствующие исследования. Их целью явилась оценка эффективности разных технологий применения удобрений в среднем по двум ротациям звена полевого севооборота: озимая пшеница — яровая пшеница — однолетние травы — яровой ячмень.

Эксперимент выполнялся стационарно, по принципу расщепленной делянки. В опыте делянки первого порядка были отведены под один из трех вариантов технологий применения минеральных удобрений — *контрольный* (1-й вариант), *традиционное внесение удобрений* на основе усредненных доз (2-й вариант), *дифференцированное внесение удобрений* с учетом внутривидовой неоднородности плодородия почвы (3-й вариант). В каждом из трех вариантов субделянки (по пять в каждом повторении) служили для определения вариативности агрохимических показателей почвы. Площадь опытного участка — 1 га. Всего на полигоне было выделено 45 секторов (элементарные участки), по 15 в каждом повторении, площадью по 220 м² (37,4 × 5,9). Исследования проводились на выщелоченном тяжелосуглинистом среднемощном черноземе со значительным уровнем изменения содержания элементов питания в почве, что позволило получить репрезентативные данные по отзывчивости культур севооборота на удобрения и выявить эффективность их внесения (гумус в пахотном слое — 5,1 — 7,3 %, нитратный и аммонийный азот — 6,91 — 13,18 мг/кг почвы, подвижные формы фосфора — 89,2 — 235,8 и обменного калия — 108,5 — 255,8 мг/кг почвы, рН_{сол} — 4,4 — 4,8).

Дозы удобрений при возделывании культур севооборота в среднем по двум ротациям составили: под озимую пшеницу (под плановую урожайность 3,5 т/га) средние дозы N₈₃P₄₄K₅₂ и дифференцированные N₅₂₋₉₉P₃₁₋₅₅K₃₈₋₆₁; под яровую пшеницу (под урожайность 3,0 т/га) — соответственно N₉₅P₃₉K₃₅ и N₄₀₋₁₃₀P₂₈₋₅₁K₂₄₋₄₃; под суданскую траву (под урожайность зеленой массы 20 т/га) — N₉₁P₃₄K₂₉ и N₇₂₋₁₀₁P₂₂₋₃₆K₂₁₋₂₇; под яровой ячмень (под урожайность 3,0 т/га) — N₇₁P₃₅K₂₅ и N₅₄₋₈₀P₂₄₋₄₂K₁₉₋₃₁.

Расчет доз удобрений под запланированную урожайность ячменя в каждом варианте осуществлялся по методу нормативного баланса, основанного на возмещении выноса питательных веществ планируемым урожаем с учетом агрохимических показателей плодородия почвы¹. Технология возделывания культур в опыте была общепринятой для зоны². Исследования проводили в соответствии с принятыми методиками³. Расчет экономической эффективности осуществляли по технологическим картам в ценах 2023 г. в соответствии с общеизвестными рекомендациями⁴. Урожай переводили в зерновые единицы (з. ед.) по культурам сево-

¹ Интегрированное применение удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии в нечерноземной зоне Европейской части России / В. Г. Сычев, В. Ф. Ладонин, Л. М. Державин [и др.]. М., 2005. 160 с.

² Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовия (методическое руководство) / под ред. А. М. Гурьянова. Саранск, 2003. 428 с.

³ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985. 352 с.

⁴ Полуниин Г. А., Гарист А. В., Князева Р. И. Методические рекомендации по определению экономического эффекта от использования результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в агропромышленном комплексе. М., 2007. 32 с.

оборота на основе коэффициентов, рекомендованных Министерством сельского хозяйства РФ⁵.

Обзор литературы

Сельскохозяйственное производство в России, в том числе в Республике Мордовия, осуществляется чаще всего в условиях рискованного земледелия, когда возделывание культур систематически подвергается воздействию негативных факторов природы. В этих обстоятельствах продуктивность отрасли существенно снижается, и значительно возрастают издержки невосполнимой энергии при получении продукции. Как утверждают Г. И. Личман и Н. М. Марченко [12], а также В. В. Ивановская, Е. И. Голубева и А. В. Труфанов [10], все это определяет разработку и внедрение точных технологий, которые бы наиболее полно реализовывали потенциал возделываемых культур и обеспечивали эффективную защиту окружающей среды от различных факторов риска, в том числе антропогенных. Р. А. Афанасьев [5], Л. В. Бойцова и Е. Г. Маглыш [7] при этом показывают, что необходим дифференцированный подход в применении средств химизации, в частности минеральных удобрений, что позволило бы скорректировать их норму в соответствии с агрохимической характеристикой почвенного плодородия.

Экономическая слагающая данных разработок, например, в работах В. Н. Намкина, Л. А. Наумкиной, А. Н. Крюкова, А. М. Хлопьяникова, Г. В. Хлопьяниковой [14], В. И. Титовой, Л. Д. Варламова, А. А. Тихонова [16] показывает, что продуктивность культур зависит от точного внесения удобрений на конкретном участке поля с определенным уровнем плодородия. Другие авторы — С. В. Шерстобитов [21], J. P. Monzon et al. [26] — считают, что увеличение дозы удобрения не всегда приводит к росту урожая и рентабельности производства.

В. С. Астахов и Г. О. Иванчиков [4], N. V. Khitrov et al. [25] находят, что эффективность дифференцированного применения удобрений в первую очередь зависит от размера участков, на которые разбивается поле при внесении туков. Чем они меньше, тем выше окупаемость удобрений в виде прибавки урожая. С другой стороны, H. Farid et al. [24] показывают, что увеличение количества участков приводит к более высоким затратам на почвенную диагностику и снижает получение прибыли.

По данным зарубежных авторов [26], расчеты экономической эффективности дифференцированного применения удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур доказали перспективность точного земледелия в снижении объемов затрат уже на начальном этапе развития данных технологий.

Результаты исследования О. К. Денисовой и М. В. Козловой [8] продемонстрировали, что в нашей стране важнейшими социально-экономическими причинами, сдерживающими внедрение точного земледелия в производство, являются дороговизна исполнения, недостаточное осознание экономического эффекта, сложность адаптации существующих технологий к точному земледелию и отсутствие высококвалифицированных кадров.

⁵ Об утверждении коэффициентов перевода в зерновые единицы сельскохозяйственных культур: Приказ Минсельхоза РФ от 11 января 2013 г. № 6. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minselkhoza-rossii-ot-11012013-n-6/> (дата обращения: 15.02.2024).

Двадцать первое столетие — век информационных технологий. На этом фоне развитие российской экономики во многом будет определяться ростом ее субъектов [11; 15]. Регионы должны идти в ногу с научно-техническим прогрессом, поскольку повышение информатизации в сфере агротехнологий и создания импортозамещающей продукции способствует производству сельскохозяйственной продукции, оправданной с экономической и экологической точек зрения.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования показали, что разные технологии применения минеральных удобрений неоднозначно влияют на продуктивность звена полевого севооборота (табл. 1; здесь и далее таблицы авторские).

Таблица 1. Среднегодовая продуктивность звена полевого севооборота в зависимости от технологии применения минеральных удобрений (среднее по двум ротациям севооборота), т з. ед./га

Table 1. The average annual productivity of the field crop rotation link depending on the technology of application of mineral fertilizers (average for two crop rotations), tons of units/ha

Вариант опыта	Культура севооборота				Сбор за ротацию	Среднегодовая продуктивность
	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Суданская трава	Яровой ячмень		
Контроль (без удобрений)	2,51	1,35	1,79	1,83	7,48	1,87
Усредненные дозы	3,03	1,64	3,19	2,78	10,64	2,66
Дифференцированные дозы	3,42	1,89	3,51	3,14	11,96	2,99
НСР ₀₅	0,35	0,21	0,25	0,24		

Анализ данных табл. 1 свидетельствует, что общий сбор зерновых единиц в среднем за две ротации севооборота был выше при внесении дифференцированных доз минеральных удобрений. Это оказалось на 11,1 % выше, чем при внесении усредненных доз, и на 37,5 % — чем в контроле. Применение удобрений по традиционной технологии в сравнении с контролем также повышало общий сбор зерновых единиц за ротацию севооборота (+29,6 %).

Расчет среднегодовой продуктивности севооборота подтвердил преимущество технологии дифференцированного применения минеральных удобрений. В этом варианте данный показатель был на 0,33 т з. ед./га выше, чем при внесении усредненных доз, и на 1,12 т з. ед./га — чем в контроле. Применение традиционной технологии также повышало на 0,79 т з. ед./га среднегодовую продуктивность севооборота относительно контроля.

Наибольшей продуктивностью (2,51 — 3,42 т з. ед./га) в севообороте отличалась озимая пшеница, а наименьшей (1,35 — 1,89 т з. ед./га) — яровая пшеница. Подробные результаты исследований о влиянии разных технологий применения удобрений на урожайность и качество продукции по каждой культуре севооборота были опубликованы в наших ранних работах [1; 2; 3].

Таким образом, наиболее устойчивым по выходу зерна явилось звено полевого севооборота с использованием технологии дифференцированного применения минеральных удобрений.

Для выявления агрономической целесообразности дифференцированного использования минеральных удобрений с учетом внутривидовой вариативности почвенного плодородия каждого варианта опыта нами был проведен сравнительный анализ данных изменения продуктивности возделываемых культур в начале первой ротации севооборота с данными последней культуры второй ротации севооборота по делянкам опытного полигона. Результаты показали, что в контроле размах варьирования в первый год проведения исследований составил 0,76 т з. ед./га при коэффициенте вариации 4 %. В варианте с внесением удобрений по традиционной технологии эти показатели равнялись соответственно 1,42 т з. ед./га и 11,5 %, а в варианте с дифференцированными дозами — 1,18 т з. ед./га и 13,9 %. По истечении второй ротации севооборота в контроле размах варьирования по продуктивности ярового ячменя по делянкам варианта вырос до 1,12 т з. ед./га, а коэффициент вариации — до 17 %. Аналогичная закономерность наблюдалась в варианте с усредненными дозами внесения удобрений, где данные показатели повысились соответственно до значений 2,1 т з. ед./га и 22,1 %. В первом случае рост показателей объяснялся существенным снижением плодородия почвы на делянках этого варианта за счет постоянного потребления значительного количества питательных веществ возделываемыми культурами в течение двух ротаций севооборота, а во втором случае — за счет безадресного внесения удобрений под культуры на основе обобщенных показателей плодородия почвы.

Иная картина наблюдалась к концу второй ротации севооборота в варианте с дифференцированными дозами удобрений. Различие в продуктивности между максимальным и минимальным значениями по делянкам этого варианта в сравнении с первым годом исследований снизилось до 0,9 т з. ед./га, или на 23,7 %, а коэффициент вариации опустился до 9,5 %. Данное явление свидетельствовало о том, что длительное применение удобрений в севообороте по такой технологии приводило к некоторому выравниванию плодородия почвы от внесения наибольшего количества на низкоплодородные делянки полигона и наименьшего — на делянки с наибольшей обеспеченностью подвижными формами элементов питания, в результате урожайность по делянкам этого варианта нивелировалась.

Важным аспектом научного обоснования технологий прецизионного земледелия при внесении удобрений и масштабного распространения результатов в сельскохозяйственной практике является оценка их агрономической эффективности (табл. 2).

По сбору зерновых единиц варианты с внесением удобрений значительно превосходили контроль и в меньшей степени различались между собой. Однако как по общему, так и среднегодовому уровню внесения минеральных удобрений в среднем за две ротации звена полевого севооборота они значительно различались, что свидетельствовало о большей эффективности технологии дифференцированного применения удобрений по сравнению с их традиционным внесением. Расчет окупаемости 1 кг д. в. удобрений показал, что при внесении дифференцированных доз удобрений с учетом неоднородности плодородия почвы была на 21,3 % выше, чем при применении усредненных доз.

Таблица 2. Агрономическая эффективность дифференцированного применения удобрений в звене полевого севооборота (среднее по двум ротациям севооборота)

Table 2. Agronomic efficiency of differentiated application of fertilizers in the field crop rotation link (average for two crop rotations)

Вариант опыта	Среднегодовая продуктивность севооборота, т з. ед./га	Внесено минеральных удобрений, кг д. в.*		Окупаемость 1 кг д. в удобрений, кг з. ед.
		всего за ротацию	в среднем за год	
Контроль (без удобрений)	1,87	—	—	—
Усредненные дозы	2,66	653,0	163,3	16,3
Дифференцированные дозы	2,99	577,0	144,3	20,7

* д. в. — действующее вещество.

Экономическая оценка разных технологий внесения минеральных удобрений довольно сложная задача. Необходимо указывать различие в урожайности культуры от их применения, что не всегда возможно. Даже на уровне исследований возникают вопросы, как лучше оценить ту или иную технологию. Отличие в урожайности между двумя полями или участками поля, на одном из которых удобрения вносили дифференцированно, а на другом — по традиционной технологии, может быть обусловлено неоднородностью в почвенном составе или другими факторами. В связи с этим для более аргументированного заключения об эффективности технологии дифференцированного внесения удобрений необходимо проводить длительные опыты на участках с разным уровнем плодородия, но в одном и том же регионе. Подобное мы наблюдали ранее в наших исследованиях, поэтому предприняли попытку проведения экономической оценки изучаемых технологий. К тому же полевой опыт осуществлялся на участке после завершеного длительного эксперимента с удобрениями, в результате чего имелись места с разным содержанием агрохимических показателей на генетически однородной почве. Это дало возможность получить репрезентативные данные для лесостепной зоны Поволжья по отзывчивости культур полевого севооборота на удобрения, вносимые с учетом или без учета пространственной неоднородности плодородия почвы.

При оценке экономической эффективности различных технологий применения минеральных удобрений принималась в расчет только актуальная рыночная стоимость удобрений и фуражного зерна, так как другие затраты, связанные с производством продукции, существенно колебались по годам и в большинстве случаев не поддавались точному учету. В связи со сказанным приведенные в табл. 3 расчеты можно считать ориентировочными.

Анализ табл. 3 свидетельствует об определенном преимуществе дифференцированного внесения удобрений, так как окупаемость затрат на приобретение 1 кг минерального удобрения стоимостью прибавки урожая оказалась на 37,9 % выше, чем при традиционной технологии их применения. Кроме того, при расчетах отмечен дополнительный экономический эффект, связанный с выравниванием условий минерального питания и продуктивности растений, о чем упоминалось выше.

Таблица 3. Экономическая эффективность дифференцированного применения удобрений
в полевом севообороте (в среднем за две ротации севооборота)Table 3. Economic efficiency of differentiated application of fertilizers
in field crop rotation (on average for two crop rotations)

Вариант опыта	Выход с 1 га севооборотной площади, т з. ед.	Прибавка от внесения удобрений, т з. ед./га	Стоимость удобрений*, руб./га	Стоимость урожая**, руб./га	Стоимость прибавки урожая, руб./га	Окупаемость 1 руб. затрат на удобрение прибавкой урожая, руб.
Контроль (без удобрений)	1,87	—	—	1 4960,0	—	—
Усредненные дозы	2,66	0,79	8 715,0	21 280,0	6 320,0	0,72
Дифференцированные дозы	2,99	1,12	7 711,2	23 920,0	8 960,0	1,16

* Средняя стоимость 1 т минеральных удобрений — 21 тыс. руб.

** Закупочная цена 1 т зерновой единицы (цена на начало 2023 г.) — 8 тыс. руб.

Заключение

Полученные результаты изысканий могут служить научным обоснованием для эффективного применения дифференцированных доз минеральных удобрений, вносимых с учетом пространственной неоднородности плодородия почвы в условиях лесостепи Поволжья и, в частности, Республики Мордовия. Применение удобрений по такой технологии позволяет повысить среднегодовую продуктивность полевого севооборота до 2,99 т з. ед./га, или на 21,3 %, в сравнении с их традиционным внесением. Аргументированным подтверждением данного факта является оценка агрономической и экономической эффективности технологий. Расчеты показали, что окупаемость 1 кг д. в. удобрений при их дифференцированном внесении выше на 11,1 %, чем при традиционном, а окупаемость затрат на их приобретение прибавкой урожая — соответственно на 37,9 %.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Возделывание яровой пшеницы при различных технологиях применения минеральных удобрений // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 64 (381). С. 78 — 81.
2. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (4). С. 636 — 645.
3. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Эффективность возделывания озимой пшеницы при дифференцированном использовании минеральных удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 4. С. 5 — 10.
4. Астахов В. С., Иванчиков Г. О. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 133 — 136.

5. Афанасьев Р. А. Закономерности внутрипольной вариабельности показателей плодородия почвы // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 1. С. 24 — 27.
6. Белых С. А., Митрофанов С. В., Личман Г. И., Марченко А. Н. Экономически прибыльный прием расчета доз для дифференцированного внесения удобрений // Техника и оборудование для села. 2020. № 7 (277). С. 45 — 50.
7. Бойцова Л. В., Маглыш Е. Г. Точная система удобрения в различных ландшафтно-экологических условиях // Плодородие. 2012. № 5 (68). С. 4 — 5.
8. Денисова О. К., Козлова М. В. Экономические аспекты применения технологии точного земледелия в Восточно-Казахстанской области // Проблемы агрорынка. 2018. № 1. С. 163 — 170.
9. Дерепаскин А. И., Куваев А. Н., Токарев И. В. Полевые исследования культиватора-удобрителя с системой дифференцированного внесения минеральных удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. № 15 (2). С. 46 — 52.
10. Ивановская В. В., Голубева Е. И., Труфанов А. В. Применение ГИС-технологий для оптимизации сельскохозяйственного природопользования // Проблемы региональной экологии. 2020. № 5. С. 36 — 41.
11. Липатова Л. Н., Малинина Т. Б., Беляев А. А. Оценка роли Республики Мордовия в системе российской экономики // Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия. 2023. Т. 15, № 1. С. 49 — 61. URL: <http://vestnikniign.ru/gallery/V-1-2023-st03.pdf>
12. Личман Г. И., Марченко Н. М. Космический мониторинг в системе точного земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. № 1. С. 27 — 31.
13. Миничкина В. П. Импортзамещение: проблемы, результаты и направления развития // Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия. 2023. Т. 15, № 2. С. 25 — 40. URL: <http://vestnikniign.ru/gallery/V-2-2023-st02.pdf>
14. Наумкин В. Н., Наумкина Л. А., Крюков А. Н., Хлопяников А. М., Хлопяникова Г. В. К разработке эффективных дифференцированных технологий возделывания полевых культур // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 1 (21). С. 127 — 132.
15. Новиков М. П., Липатова Л. Н., Градусова В. Н. Механизм обеспечения устойчивого социально-экономического развития Республики Мордовия // Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия. 2023. Т. 15, № 2. С. 41 — 56. URL: <http://vestnikniign.ru/gallery/V-2-2023-st03.pdf>
16. Титова В. И., Варламов Л. Д., Тихонов А. А. Продуктивность яровой пшеницы в зависимости от соотношения основных элементов питания в удобрениях // Плодородие. 2011. № 4. С. 15 — 17.
17. Четаева К. Г. Оценка продовольственной безопасности Республики Мордовия в условиях экономического кризиса: новые возможности и угрозы // Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия. 2021. № 1 (57). С. 171 — 180. URL: <http://www.niign.ru/nauchnie-jurnaly/vestnik-niign-1,2021-g...pdf>
18. Чикишев Д. В. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 7. С. 28 — 32.
19. Цыганова Н. А. Энергетическая и экономическая эффективность дифференцированного применения минеральных удобрений в полевом севообороте // Агрофизика. 2020. № 1. С. 37 — 44.
20. Шаповалов Д. А., Королева П. В., Калинина Н. В., Вильчевская Е. В., Куляница А. Л., Рухович Д. И. ASF-INDEX — карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почвенного покрова, построенная на основе больших спутниковых данных для задач точного земледелия // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 1. С. 9—15.
21. Шерстобитов С. В. Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений в режиме off-line в условиях Западной Сибири // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (91). С. 22 — 26.
22. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario // Agricultural Systems. 2018. Vol. 167. P. 176 — 185.

23. Fabbri C., Mancini M., Marta A., Orlandini S., Napoli M. Integrating satellite data with a Nitrogen Nutrition Curve for precision top-dress fertilization of durum wheat // *European Journal of Agronomy*. 2020. Vol. 120. P. 126 — 148.

24. Farid H., Bakhsh A., Ahmad N. [et al.]. Delineating site-specific management zones for precision agriculture // *Journal of Agricultural Science*. 2016. Vol. 154, № 2. P. 273 — 286.

25. Khitrov N. B., Rukhovich D. I., Koroleva P. V. [et al.]. A study of the responsiveness of crops to fertilizers by zones of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data analysis // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2020. Vol. 66, Issue 14. P. 1963 — 1975.

26. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O. [et al.]. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study // *European Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 99. P. 62 — 71.

27. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture // *Advances in Agronomy*. 2022. Vol. 171. P. 143 — 189.

Статья поступила в редакцию 26.03.2024; одобрена после рецензирования 27.04.2024; принята к публикации 03.05.2024.

Информация об авторах:

Андрей Александрович Артемьев, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией координатного земледелия, заместитель директора по научной работе Мордовского научно-исследовательского института сельского хозяйства — филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (430904, Россия, г. Саранск, р. п. Ялга, ул. Мичурина, 5), доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, artemjevaa@yandex.ru

Иван Павлович Лаптев, аспирант Научно-исследовательского института гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия (430005, Россия, г. Саранск, ул. Л. Толстого, 3), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4351-7915>, lapteff.van@yandex.ru

Вклад авторов:

Артемьев А. А. — разработка методики и проведение полевых исследований, сбор экспериментальных данных и анализ литературы, обобщение и научное редактирование текста;

Лаптев И. П. — обобщение экспериментальных данных и оценка экономической эффективности результатов исследования.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Artemyev AA, Guryanov AM. Cultivation of Spring Wheat with Various Technologies of Application of Mineral Fertilizers. *International Agricultural Journal*. 2021;(64):78—81. (In Russ.)

2. Artemyev AA, Guryanov AM. Differentiated Application of Mineral Fertilizers in the Cultivation of Spring Barley. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2023;(24):636—645. (In Russ.)

3. Artemyev AA, Guryanov AM. Efficiency of Winter Wheat Cultivation with Differentiated Use of Mineral Fertilizers. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2020;34(4):5—10. (In Russ.)

4. Astakhov VS, Ivanchikov GO. Problems of Using Precision Farming Systems with Differentiated Application of Solid Mineral Fertilizers and Ways to Solve Them. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022;(1):133—136. (In Russ.)

5. Afanasyev RA. Patterns of Intrafield Variability of Soil Fertility Indicators. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2012;(1):24—27. (In Russ.)
6. Belykh SA, Mitrofanov SV, Lichman GI, Marchenko AN. Economically Profitable Method of Calculating Doses for Differentiated Fertilization. *Machinery and Equipment for Rural Areas*. 2020;(7):45—50. (In Russ.)
7. Boycova LV, Maglysh EG. Precise Fertilizer System in Various Landscape and Environmental Conditions. *Fertility*. 2012;(5):4—5. (In Russ.)
8. Denisova OK, Kozlova MV. Economic Aspects of the Application of Precision Farming Technology in the East Kazakhstan Region. *Problems of the Agricultural Market*. 2018;(1):163—170. (In Russ.)
9. Derepaskin AI, Kuvaev AN, Tokarev IV. Field Studies of a Cultivator-Fertilizer with a System of Differentiated Application of Mineral Fertilizers. *Agricultural Machines and Technologies*. 2021;(15):46—52. (In Russ.)
10. Ivanovskaya VV, Golubeva EI, Trufanov AV. Application of GIS Technologies for Optimization of Agricultural Environmental Management. *Problems of Regional Ecology*. 2020;(5):36—41. (In Russ.)
11. Lipatova LN, Malinina TB, Belyaev AA. Assessment of the Role of the Republic of Mordovia in the Russian Economic System. *Bulletin of the Research Institute of the Humanities by the Government of the Republic of Mordovia*. 2023;15(1):49—61. URL: <http://vestnikniign.ru/gallery/V-1-2023-st03.pdf> (In Russ.)
12. Lichman GI, Marchenko NM. Space Monitoring in the Precision Agriculture System. *Agricultural Machinery and Technology*. 2010;(1):27—31. (In Russ.)
13. Minichkina VP. Import Substitution: Problems, Results and Directions of Development. *Bulletin of the Research Institute of the Humanities by the Government of the Republic of Mordovia*. 2023;15(2):25—40. URL: <http://vestnikniign.ru/gallery/V-2-2023-st02.pdf> (In Russ.)
14. Naumkin VN, Naumkina LA, Kryukov AN, Khlopyanikov AM, Khlopyanikova GV. Towards the Development of Effective Differential Technologies for Cultivating Field Crops. *Innovations in Agriculture: Problems and Prospects*. 2019;(1):127—132. (In Russ.)
15. Novikov MP, Lipatova LN, Gradusova VN. Mechanism of Ensuring Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Mordovia. *Bulletin of the Research Institute of the Humanities by the Government of the Republic of Mordovia*. 2023;15(2):41—56. URL: <http://vestnikniign.ru/gallery/V-2-2023-st03.pdf> (In Russ.)
16. Titova VI, Varlamov LD, Tikhonov AA. Productivity of Spring Wheat Depending on the Ratio of Basic Nutrients in Fertilizers. *Fertility*. 2011;(4):15—17. (In Russ.)
17. Chetaeva KG. Assessment of Food Security of the Republic of Mordovia in the Context of the Economic Crisis: New Opportunities and Threats. *Bulletin of the Research Institute of the Humanities by the Government of the Republic of Mordovia*. 2021;(1):171—180. URL: <http://www.niign.ru/nauchnie-jurnaly/vestnik-niign-1,2021-g...pdf> (In Russ.)
18. Chikishev DV. Economic Efficiency of the Use of Mineral Fertilizers Using Satellite Navigation Systems. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2020;(7):28—32. (In Russ.)
19. Tsyganova NA. Energy and Economic Efficiency of Differentiated Application of Mineral Fertilizers in Crop Rotation Field. *Agrophysics*. 2020;(1):37—44. (In Russ.)
20. Shapovalov DA, Koroleva PV, Kalinina NV, Vilchevskaya EV, Kulyanitsa AL, Rukhovich DI. ASF-INDEX Is a Map of Stable Intrafield Heterogeneity of Soil Fertility, Built on the Basis of Large Satellite Data for Precision Farming Tasks. *International Agricultural Journal*. 2020;(1):9—15. (In Russ.)
21. Sherstobitov SV. The Effectiveness of Differentiated Application of Nitrogen Fertilizers in the Off-Line Mode in Western Siberia. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2021;(5):22—26. (In Russ.)
22. Capmourteres V, Adams J, Berg A, Fraser E, Swanton C, Anand M. Precision Conservation Meets Precision Agriculture: A Case Study from Southern Ontario. *Agricultural Systems*. 2018;167:176—185.

23. Fabbri C, Mancini M, Marta A, Orlandini S, Napoli M. Integrating Satellite Data with a Nitrogen Nutrition Curve for Precision Top-Dress Fertilization of Durum Wheat. *European Journal of Agronomy*. 2020;120:126—148.

24. Farid H, Bakhsh A, Ahmad N [et al.]. Delineating Site-Specific Management Zones for Precision Agriculture. *Journal of Agricultural Science*. 2016;154(2):273—286.

25. Khitrov NB, Rukhovich DI, Koroleva PV [et al.]. A Study of the Responsiveness of Crops to Fertilizers by Zones of Stable Intrafield Heterogeneity Based on Big Satellite Data Analysis. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2020;66(14):1963—1975.

26. Monzon JP, Calviño PA, Sadras VO [et al.]. Precision Agriculture Based on Crop Physiological Principles Improves Whole-Farm Yield and Profit: A Case Study. *European Journal of Agronomy*. 2018;99:62—71.

27. Rabia AH, Neupane J, Lin Z [et al.]. Principles and Applications of Topography in Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 2022;171:143—189.

The article was submitted 26.03.2024; approved after reviewing 27.04.2024; accepted for publication 03.05.2024.

Information about the authors:

Andrey A. Artemyev, Leading Researcher, Head of the Coordinate Farming Laboratory, Deputy Director for scientific work of the Mordovia Research Agriculture Institute — Branch of the Federal Agrarian Research Center of the North-East (5 Michurina Str., Yalga, Saransk 430904, Russia), Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, artemjevaa@yandex.ru

Ivan P. Laptev, Postgraduate Student of the Research Institute of the Humanities by the Government of the Republic of Mordovia (3 L. Tolstogo Str., Saransk 430005, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4351-7915>, lapteff.van@yandex.ru

Contribution of the authors:

Artemyev A. A. — development of methodology and conduct of field research, collection of experimental data and analysis of literature, generalization and scientific editing of the text;

Laptev I. P. — generalization of experimental data and assessment of the economic efficiency of the research results.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interests.

The authors have read and approved the final version of the manuscript.