



## Повышение урожайности и качества зерна озимой пшеницы за счет применения инновационных удобрений и сельхозмашин

В. А. Милюткин<sup>1</sup>✉, В. А. Овчинников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Самарский ГАУ (г. Кинель, Российская Федерация)

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Мордовский

государственный университет

(г. Саранск, Российская Федерация)

✉ [oiapp@mail.ru](mailto:oiapp@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Статья посвящена исследованию оптимизации процесса применения жидких азотных минеральных удобрений на основе карбамидно-аммиачной смеси как в серийном виде КАС-32, так и в инновационном КАС+S (с добавлением мезоэлемента серы S) в качестве подкормки озимой пшеницы весной в период кущения. Процесс внесения осуществляли поверхностно по посевам с крупнокапельными форсунками серийным штанговым опрыскивателем «Туман-2» и инжекторно-инновационным агрегатом мультиинжектором «Туман-2М».

**Цель статьи.** Обосновать рациональные технологии с основными составляющими эффективного применения КАС на основных видах сельскохозяйственных культур.

**Материалы и методы.** В процессе исследования использованы общепринятая методика полевого опыта, ОСТы и ГОСТы на испытания машин для внесения удобрений. В качестве объектов исследований были приняты жидкие азотные минеральные удобрения КАС-32 и КАС+S производства ПАО «КуйбышевАзот», которые вносились опрыскивателями «Туман-2» и «Туман-2М» предприятия ООО «Пегас-Агро».

**Результаты исследования.** Проведенные Самарским ГАУ полевые сравнительные испытания инновационных технологий применения КАС показали увеличение урожайности озимой пшеницы сорта Базис до 59,9 %, по сравнению с вариантом обработки посевов аммиачной селитрой. Кроме того, применение КАС+S повышает классность пшеницы по белку с III до I класса, по клейковине – с III до II класс.

**Обсуждение и заключение.** Жидкие минеральные удобрения КАС имеют преимущество, по сравнению с аммиачной селитрой, особенно в засушливые годы, что весьма актуально в условиях прогнозируемого глобального потепления. Полученные результаты имеют большое значение для широкого внедрения данной инновационной технологии в АПК.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, азотные удобрения, жидкие удобрения, КАС-32, КАС+S, опрыскиватель, мультиинжектор, Туман-2, Туман-2М

**Благодарности:** исследования проведены при финансовой поддержке Самарских предприятий ПАО «КуйбышевАзот», ООО «Пегас-Агро», с участием Министерства сельского хозяйства и продовольствия Самарской области.



**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Милюткин В. А., Овчинников В. А. Повышение урожайности и качества зерна озимой пшеницы за счет применения инновационных удобрений и сельхозмашин // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 1. С. 52–67. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.052-067>

Original article

## Increasing the Yield and Quality of Winter Wheat Grain through the Use of Innovative Fertilizers and Agricultural Machinery

V. A. Milyutkin<sup>a</sup>✉, V. A. Ovchinnikov<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Samara State Agrarian University (Kinel, Russian Federation)

<sup>b</sup> National Research Mordovia State University (Saransk, Russian Federation)

✉ [oiapp@mail.ru](mailto:oiapp@mail.ru)

### Abstract

**Introduction.** The article deals with the study of optimizing the process of using liquid nitrogen mineral fertilizers based on a carbamide-ammonia mixture, both in the serial form of CAS-32 and in the innovative CAS+S (with the addition of a mesoelement-sulfur-S), as a top dressing for winter wheat during tillering in spring. The dressing process was carried out superficially on crops with a serial rod sprayer Tuman-2 with large-drop nozzles and an innovative multi-injector unit Tuman-2M.

**Aim of the Article.** The article aims at justifying rational technologies with the main components of the effective application of CAS on the main types of crops.

**Materials and Methods.** In the course of the study, there were used a common methodology of field experience, OST and GOST standards for testing machines for fertilization. Liquid nitrogen mineral fertilizers CAS-32 and CAS+S produced by PJSC KuibyshevAzot and taken as objects of research were introduced by sprayers Tuman-2 and Tuman-2M manufactured by the company Pegas-Agro LLC.

**Results.** The field comparative tests of innovative technologies for the use of CAS conducted by Samara State Agrarian University showed an increase in the yield of the winter wheat variety Basis to 59.9% compared with the option of dressing crops with ammonium nitrate. In addition, the use of CAS+S increases the class of wheat in protein from class III to class I, in gluten from class III to class II.

**Discussion and Conclusion.** In general, liquid mineral fertilizers of CAS have an advantage over ammonium nitrate, especially in dry years that is very topical in the conditions of predicted global warming. The results obtained are of great importance for the wider introduction of this innovative technology in the agro-industrial complex.

**Keywords:** winter wheat, nitrogen fertilizers, liquid fertilizers, CAS-32, CAS+S, sprayer, multi-injector, Tuman-2, Tuman-2M

**Acknowledgements:** The research was carried out with the financial support of the Samara enterprises PJSC KuibyshevAzot, LLC Pegas-Agro with the participation of the Ministry of Agriculture and Food of the Samara Region.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Milyutkin V.A., Ovchinnikov V.A. Increasing the Yield and Quality of Winter Wheat Grain through the Use of Innovative Fertilizers and Agricultural Machinery. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(1):52–67. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.052-067>

## Введение

Современное сельское хозяйство обеспечивает население продовольствием. Оно должно быть разнообразным и качественным. К сожалению, проблема дефицита продовольствия актуальна, и она усугубляется. Российская Федерация, располагая значительными земельными ресурсами, эффективно реформировав агропромышленный комплекс, становится одной из ведущих стран по производству продуктов питания как для собственного населения, так и для экспорта. Существенным фактором, обеспечивающим производство сельскохозяйственной продукции в требуемом количестве, является сохранение и приумножение плодородия почв, что в настоящее время обеспечивается не в полной мере. Для этого отечественной и мировой наукой разрабатываются интенсивные технологии с использованием инновационных агрохимических (исследовались удобрения ПАО «Куйбышев-Азот») и технических средств (система машин «Туман» ООО «Пегас-Агро») для эффективного их применения. По заключению основателя отечественной агрохимии Д. Н. Прянишникова, «главным условием, определяющим среднюю высоту урожая в разные эпохи, является степень обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом» [1].

Наряду с традиционно применяемыми в сельском хозяйстве твердыми азотными удобрениями, большое распространение в мире получает жидкое удобрение на основе карбамида-аммиачной смеси (КАС), особенно для засушливых условий и прогнозируемого глобального потепления<sup>1</sup> [1–3]. КАС как вид жидкого азотного удобрения был запатентован в США в марте 1984 года. Карбамида-аммиачная смесь сейчас успешно применяется в Европе, США, Австралии и других странах мира для выращивания злаков, фруктов, технических культур.

В связи с интенсивным распространением КАС в России в ряд регионов на юге и севере, отечественная химическая промышленность, компании «Акрон», «ЕвроХим», «КуйбышевАзот» и «СДС Азот», поставляет более 3,5 млн т КАС-32 для 35 млн га сельскохозяйственных угодий при среднем расходе в 100 кг/га по различным технологиям его внесения.

В значительной степени проблема сохранения и повышения плодородия почв связана со всесторонним изучением КАС, требующим особых технологий и технических средств при применении<sup>2</sup> [4; 5].

Цель исследования – обоснование рациональных технологий с основными составляющими эффективного применения

<sup>1</sup> Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года / А. Л. Иванов [и др.] // Версия 2.0. Москва, 2021. 400 с. URL: <https://new.ras.ru/staff/akademiki/ivanov-andrey-leonidovich/> (дата обращения: 03.12.2022).

<sup>2</sup> Сычев В. Г., Ефремов Е. Н. Агрохимия в решении задач продовольственной безопасности // Агрохимия в XXI веке : мат-лы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. 2018. С. 34–41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41241642&pf=1> (дата обращения: 03.12.2022); Сычев В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М. : РАН, 2019. 324 с.; Сычев В. Г. Перспективы использования новых агрохимикатов в современных агротехнологиях // Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур : мат-лы докладов участников науч.-практич. конф. 2018. С. 3–6. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35437695> (дата обращения: 03.12.2022); Сычев В. Г., Алиев А. М., Цимбалист Н. И. Влияние средств химизации в технологиях возделывания озимой пшеницы на зависимость между урожайностью зерна и энергетической эффективностью // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг. : мат-лы Всерос. координационного совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. 2018. С. 278–286. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35672882&pf=1> (дата обращения: 03.12.2022).

КАС на основных видах сельскохозяйственных культур.

### Обзор литературы

В своих исследованиях ученые Самарского ГАУ основывались на результатах исследований по оптимизации технологий применения КАС различного состава на сельскохозяйственных культурах<sup>3</sup> [4–6]. При этом учитывали коэффициент использования азота минеральных удобрений растениями и его регулирование [1], оценку влияния жидких комплексных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы [2], агроэкономическую оценку применения жидких азотных удобрений в сельском хозяйстве<sup>4</sup>, разработки по интеллектуальным машинным технологиям и технике для реализации государственной программы развития сельского хозяйства [3], расход ресурсов биологического азота в земледелии России [4], сравнительную оценку жидких азотных и азотсераосодержащих удобрений на базе КАС, по сравнению с твердыми минеральными удобрениями<sup>5</sup>, алгоритм оценки и выбора машинных технологий с учетом показателей экологической устойчивости сельских территорий [5], инновационную технику и технологии применения жидких удобрений КАС в регионах с недостаточным увлажнением при прогнозируемом глобальном потеплении [6–10].

По имеющейся информации и проведенному научному обзору определено главное – жидкие азотные минеральные удобрения КАС имеют существенное положительное влияние на развитие, урожайность и качество ликвидных возделываемых сельскохозяйственных культур. При этом КАС

- дешевый и прост в производстве;
- безопасный при перевозках, хранении и использовании;

– в отличие от других видов азотных солей, используемых в сельском хозяйстве, не взрывается, менее опасен для здоровья;

– универсальный (КАС широко используется для внесения в почву и внекорневой подкормки, что особенно важно для влажных местностей, где азот легко вымывается из почвы);

– долго действует (в смеси азот содержится в трех видах, из которых четверть (ионы  $\text{NO}_3$ ) сразу доступна для поглощения растениями, также доступна для усвоения другая четверть – ионы  $\text{NH}_4$ , которая быстро может перерабатываться почвенными нитрифицирующими бактериями в нитраты  $\text{NO}_3$ ; оставшаяся половина общего количества азота постепенно превращается под воздействием почвенных энзимов в  $\text{NH}_4$ , а затем в  $\text{NO}_3$ , что обеспечивает длительность периода действия удобрения);

– используется как основа для добавления других видов подкормок и пестицидов [11–15].

Анализ литературных источников по рассматриваемой теме показывает, что с учетом физико-механических и химических свойств КАС необходимо совершенствовать существующие технологии применения, так как есть нерешенные вопросы по повышению эффективности его использования [16–20].

Особенно интенсивно совершенствуются сельскохозяйственные машины по внесению КАС. Так поставка на российский аграрный рынок голландской машины-ликвилайзера для более эффективного внутривидового внесения удобрений Dupont стимулировала отечественные сельхозмашиностроительные фирмы к созданию отечественных аналогов. В итоге Самарское ООО «Пегас-Агро» разработало систему машин

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса...

<sup>5</sup> Сычев В. Г., Ефремов Е. Н. Агрохимия в решении задач продовольственной безопасности.

для внесения минеральных удобрений, в частности мультиинжектор «Туман-2М», не уступающий голландской машине<sup>6</sup> [21–25].

### Материалы и методы

В соответствии с поставленными задачами проводились исследования технических средств ООО «Пегас-Агро»: мультиинжектор (ликвилайзер) «Туман-2М» (рис. 1а) и опрыскиватель «Туман-2» (рис. 1б) для внесения азотных жидких минеральных удобрений на основе карбамидно-аммиачной смеси КАС по разным технологиям и нормам внесения с дополнительным добавлением мезо- и микроэлементов.

Полевые исследования проводились в значительно отличающиеся по погодным условиям годы (2021 г. – засушливый, 2022 г. – благоприятный по влаге) на опытных полях Самарского

государственного аграрного университета по общепринятой методике полевого опыта на озимой пшенице сорта Базис селекции Самарского НИИСХ. В исследованиях использовались КАС-32 (N-32 %) и КАС+S, содержащая 26 % азота и 2,5–4,0 % серы. В отдельных опытах, в соответствии с почвенными анализами, использовалась сложная баковая смесь с добавлением в раствор КАС+S недостающих калия (за счет гумата калия, 5 л/га) и микроэлементов: медь, бор, цинк (по 0,5 кг/га) (табл. 1).

Исследования проводились по следующим схемам (рис. 2).

Экспертная оценка широко распространенных в АПК России машинных комплексов «Туман» свидетельствует в первую очередь об эффективно выбранной 3-осевой ходовой платформе с набором шин низкого и сверхнизкого



а)



б)

Рис. 1. Агрегаты фирмы «Пегас-Агро»: а) мультиинжектор «Туман-2М»; б) опрыскиватель штанговый «Туман-2»

Fig. 1. Units manufactured by the company Pegas-Agro:

a) multi-injector Tuman-2M; b) rod sprayer Tuman-2

<sup>6</sup> Мочкова Т. В., Марченко Л. А., Колесникова В. А. Агроэкономическая оценка применения жидких азотных удобрений в сельском хозяйстве // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сборник научных докладов Междунар. науч.-технич. конф. 2015. С. 59–63. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24016086&pff=1> (дата обращения: 03.12.2022); Завалин А. А., Чернова Л. С. Ресурсы биологического азота и его использования в земледелии России // Плодородие почв России: состояние и возможности: сборник статей. 2019. С. 40–49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41492258&pff=1> (дата обращения: 03.12.2022); Жидкие азотные и азотосеросодержащие удобрения на базе КАС – эффективная альтернатива твердым минеральным удобрениям / В. А. Милюткин [и др.] // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы Междунар. науч. конф. 2020. С. 71–74. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44126248> (дата обращения: 03.12.2022).



Варианты опытов в 2021/2022 гг.  
Variants of experiments in 2021/2022

Контроль: разбрасыватель, аммиач. селитра, 120 кг/га / Control: spreader, ammonia, saltpeter, 120 kg/ha		Мультиинжектор «Туман-2М» / Multi-injector Tuman-2M			КАС+S: Опрыск. + Мультиинжектор, 200 + 250 л/га / CAS+S: Offspring. + Mu- ltiinjector, 200 + 250 l/ha	КАС + S + + гум. калия- 5 л/га + Gu + + Br + Zn- 0,5кг/га / CAS + S + + gum. potassium- 5 l/ha + Gu + + Br + Zn- 0.5 kg/ha
Опрыскив., «Туман-2» КАС+S, 200 л/га / Sprayer, Tuman-2 CAS+S, 200 l/ha		КАС+S, 200 л/га / CAS+S, 200 l/ha	КАС+S, 300 л/га / CAS+S, 300 l/ha	КАС+S, 350 л/га / CAS+S, 350 l/ha		

давления. При этом для снижения давления на почву и лучшей сохранности посевов, особенно озимых, используются широкие шины (рис. 1), а для сохранности пропашных культур с междурядьями 70 см при их подкормке устанавливаются узкие шины из комплекта мультиинжектора (рис. 3).

Особенностью агрегатов «Туман» ООО «Пегас-Агро» является то, что все они собраны на единой транспортно-силовой базе «платформе», что обеспечивает при необходимости их взаимозаменяемость (в течение 5 часов) в зависимости от проводимых агрохимических работ.

#### Результаты исследования

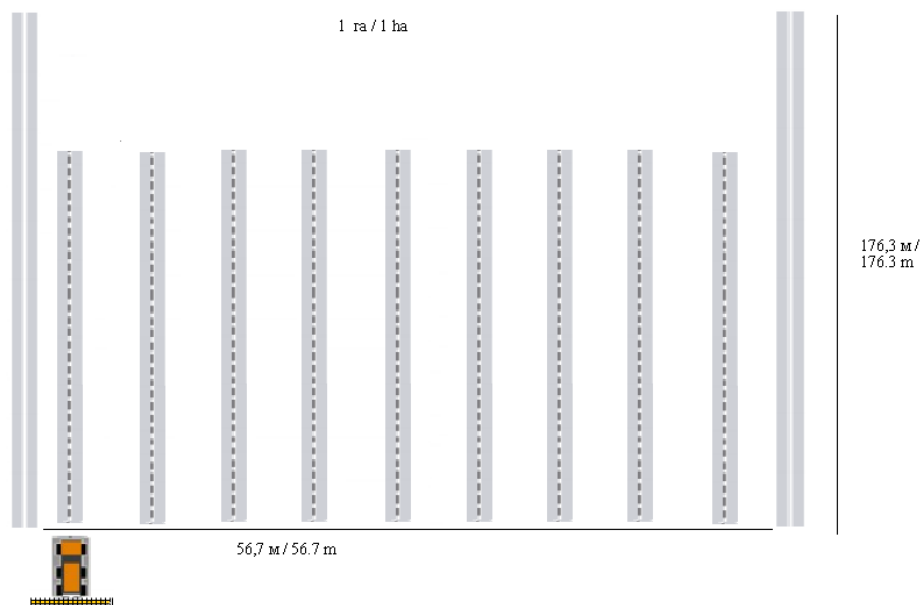
Технологический процесс внесения жидких удобрений в почву мультиинжектором «Туман-2М» представляет собой подачу раствора под давлением 3 атм к иглам инъекционных колес. Иглы с отверстиями на конце, погружаясь в почву, открывают клапан подачи КАС и впрыскивают его на глубину 6–8 см в зону корнеобразования растений с междурядьями 25–35 см.

В качестве альтернативы мультиинжектору «Туман 2М» использовали опрыскиватель «Туман-2» с пятиструйными крупнокапельными форсунками. В процессе исследований, в соответствии с программой, определяли возможности

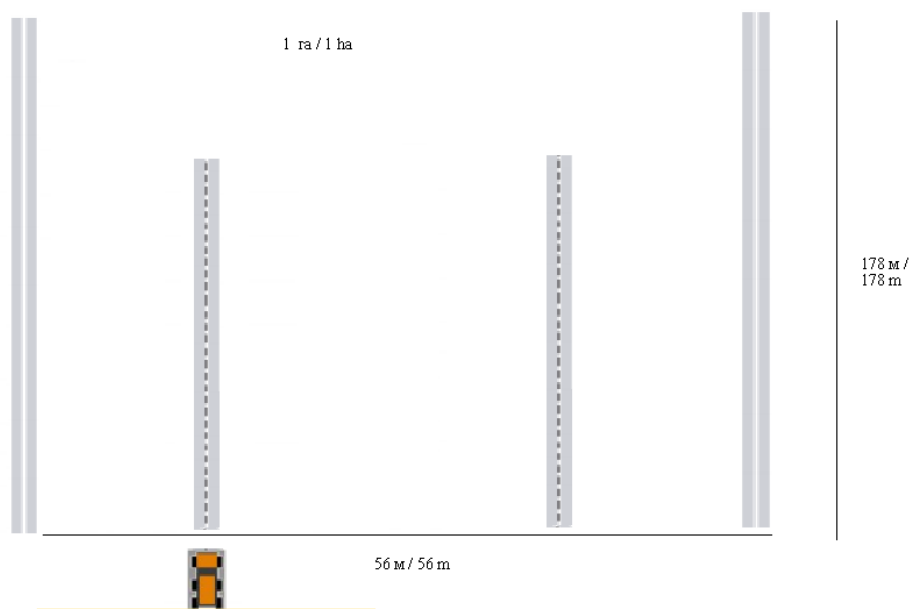
по прибавке урожайности озимой пшеницы сорта Базис при разных нормах внесения и состава удобрения на базе КАС. Сравнительная эффективность раздельного и одновременного, на одном участке, внесения жидких удобрений КАС мультиинжектором и штанговым опрыскивателем представлена в таблице 2 и в графическом виде на рисунках 4, 5.

В 2021 г. на этапе экспериментальных исследований определяли содержание азота в почве и непосредственно в растениях, а также качество и количество урожая озимой пшеницы сорта Базис. Из результатов исследований следует, что обработка посевов мультиинжектором «Туман-2М», в сравнении с листовой обработкой опрыскивателем «Туман-2», в фазу кущения приводит к увеличению урожайности озимой пшеницы с 48,4 до 56,1 ц/га, что эффективнее на 20 %, и на 40 % (с 39,9 до 56,1 ц/га) – по сравнению с контролем (табл. 2). Комплексная обработка (опрыскивание + мультиинжектор) при норме 200 + 250 л/га позволяет увеличить урожайность до 63,8 ц/га, что на 60 % больше, по сравнению с контролем.

Качественные показатели полученного зерна определяли по белку и клейковине. В итоге применение КАС+S



a)



b)

Р и с. 2. Опытный участок для исследований эффективности внутрипочвенного внесения жидких азотных серосодержащих удобрений КАС+S: а) мультиинжектором «Туман-2М»; б) штанговым опрыскивателем «Туман-2»

Fig. 2. Experimental site for studies of the effectiveness of intra-soil application of liquid nitrogen sulfur-containing fertilizers CAS+S: a) multi-injector Tuman-2M; b) rod sprayer Tuman-2



Р и с. 3. Мультиинжектор «Туман 2М» с узкими колесами на подкормке кукурузы  
F i g. 3. Multi-injector Tuman-2M with narrow wheels for feeding corn

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

**Урожайность озимой пшеницы сорта Базис 2021/2022 гг.**  
**The yield of the winter wheat variety Basis in 2021/2022**

Варианты опытов / Variants of experiments						
Контроль: разбрасыватель, аммиач. селитра, 120 кг/га / Control: spreader, ammonia. saltpeter, 120 kg/ha	Опрыскив., «Туман-2» КАС+S, 200 л/га / Sprayer, Tuman-2 CAS+S, 200 l/ha	Мультиинжектор «Туман-2М» / Multi-injector Tuman-2M			КАС+S: Опрыск. + Мультиинжектор, 200 + 250 л/га / CAS+S: Offspring. + Multiinjector, 200 + 250 l/ha	КАС + S + + гум. калия-5 л/га + + Gu + + Br + Zn- 0,5 кг/га / CAS + S + gum. potassium-5 l/ha + + Gu + Br + + Zn-0.5 kg/ha
		КАС+S, 200 л/га / CAS+S, 200 l/ha	КАС+S, 300 л/га / CAS+S, 300 l/ha	КАС+S, 350 л/га / CAS+S, 350 l/ha		
39,9 / 51,7	48,4 / 61,7	56,1 / 62,5	58,2 / 64,1	61,5 / 65,5	63,8 / 78,5	62,8 / 76,9

приводит к повышению классности пшеницы по белку с III до I кл., а по клейковине с III до II кл., по сравнению с пшеницей, не обработанной жидкими удобрениями.

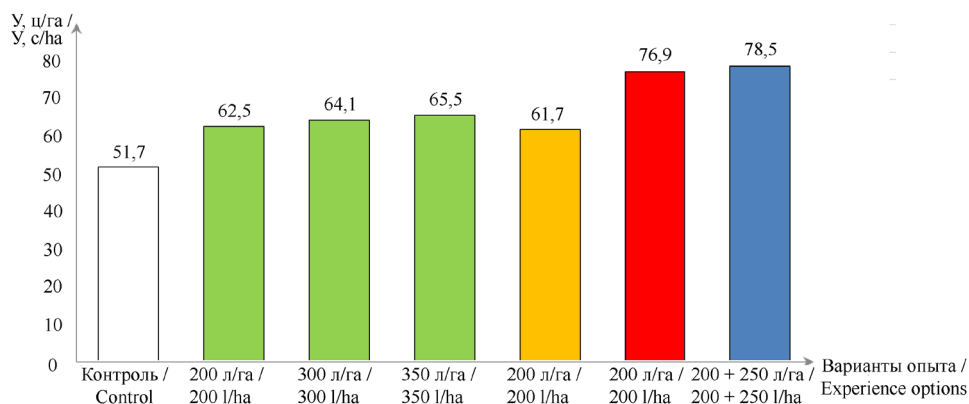
В более благоприятный по увлажнению 2022 год урожайность озимой пшеницы от действия удобрений возросла, по сравнению с засушливым 2021 годом (табл. 2, рис. 4).

*Agricultural engineering*

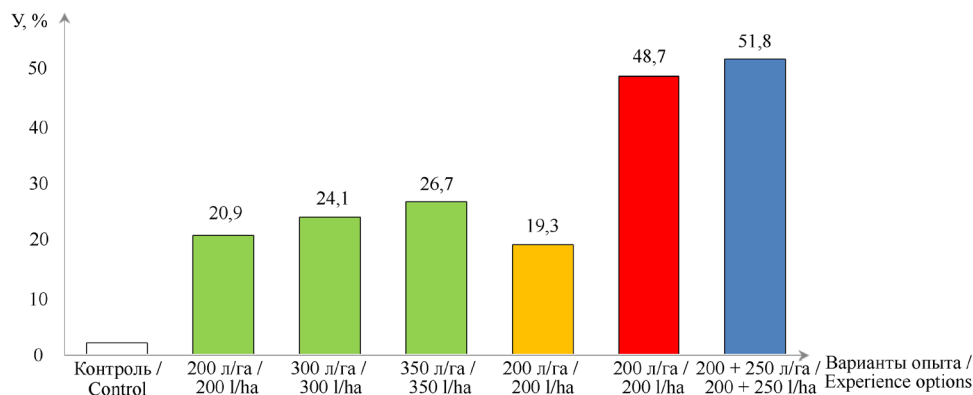
Так, при внесении жидких удобрений КАС+S при подкормке озимых в фазу кущения мультиинжектором урожайность, по сравнению с контролем, возросла с 51,7 до 65,5 ц/га или на 26,7 % (рис. 4). При добавлении в КАС+S гумата калия в количестве 5 л/га и микроэлементов Gu, Zn, Br по 0,5 кг/га урожайность пшеницы возросла до 76,9 ц/га, или на 48,7 %.

59





а)



б)

- – Контроль / Control
- (green) – Мультиинжектор КАС+S / Multiinjector CAS+S
- (yellow) – Опрыскиватель, 200 л/га / Sprayer, 200 l/ha
- (red) – Мультиинжектор КАС+S+гуматы (5 л/га)+Cu, Zn, Br (0,5 кг/га) / Multiinjector CAS+S+gumates (5 l/ha)+Cu, Zn, Br (0.5 kg/ha)
- (blue) – Мультиинжектор – 350 л/га + Опрыскиватель – 200 л/га / Multiinjector 350 l/ha + Sprayer – 200 l/ha

Р и с. 4. Урожайность озимой пшеницы (2022 г.) в зависимости от технологий обработки посевов: а) урожайность в ц/га; б) урожайность в %

Fig. 4. Yield of winter wheat (2022) depending on crop processing technologies: а) yield in c/ha; б) yield in %

Максимально возможный эффект от применения жидких удобрений получили при комбинированном внесении КАС+S практически двойной нормы (мультиинжектором внутрипочвенно + опрыскивателем поверхностью). Урожайность при этом составила 78,5 ц/га, или на 51,8 % выше относительно контроля.

По итогам 2022 года при наиболее благоприятных условиях для растениеводства по увлажнению на

производственных посевах в Самарской области так же была получена рекордная за последние годы урожайность.

Состояние посевов было хорошим (рис. 5), качество зерна по хлебопекарным показателям, главным образом по клейковине и белку, так же было высоким для озимой пшеницы и находилось на уровне III–II классов (табл. 3), что свидетельствует об эффективном

действию азотных жидких минеральных удобрений.

Эффективность инновационных технологий с внесением жидких азотных минеральных удобрений КАС

будет большей при применении точного земледелия и дополнительных агротехнических мероприятий по влагонакоплению и экономичному ее использованию<sup>7</sup> [24–26].



a)



b)

Р и с. 5. Озимая пшеница сорт Базис:

a) обработанная мультиинжектором «Туман-2М»; b) обработанная опрыскивателем «Туман-2»

F i g. 5. Winter wheat variety Basis:

a) Treated with a multi-injector Tuman-2M; b) Treated with a sprayer Tuman-2

<sup>7</sup> Милюткин В. А. Инновационные техника и технологии применения жидких удобрений КАС в регионах с недостаточным увлажнением при прогнозируемом глобальном потеплении : моногр. Кинель, 2021. 181 с. ; Прокопчук Р. Е., Беляев В. И. Эффективность машинно-тракторных агрегатов для внутрипочвенного внесения жидких минеральных удобрений // Аграрная наука – сельскому хозяйству : сборник материалов XVII Междунар. науч.-практич. конф. в 2-х книгах. 2022. С. 66–68. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48559596> (дата обращения: 03.12.2022) ; Прокопчук Р. Е., Беляев В. И., Щербинин В. В. Точная инъекция жидких минеральных удобрений // Аграрная наука – сельскому хозяйству : сборник материалов XVI Междунар. науч.-практич. конф. в 2 кн. 2021. С. 32–34. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46137892> (дата обращения: 03.12.2022) ; Длужевский Н. Г., Милюткин В. А. Оптимизация транспортной логистики жидких удобрений ПАО «КуйбышевАзот» по программе завод-поле // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : Сборник V Всерос. (нац.) науч. конф. 2020. С. 1138–1142. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44343408> (дата обращения: 03.12.2022) ; Милюткин В. А., Длужевский Н. Г. Логистика жидких удобрений ПАО «КуйбышевАзот» – от завода до сельхозпредприятия – АПК // Теоретические и концептуальные проблемы логистики и управление цепями поставок : сборник статей II Междунар. науч.-практич. конф. 2020. С. 49–53. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43809794> (дата обращения: 03.12.2022) ; Исследование эффективности инновационной технологии внесения жидких удобрений КАС внутрипочвенно и поверхностно агрегатами «Пегас-Агро» / В. А. Милюткин [и др.] // Актуальные вопросы агропромышленного комплекса России и за рубежом : мат-лы Всерос. (нац.) науч.-практич. конф. с международным участием. 2021. С. 114–121. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47442195> (дата обращения: 03.12.2022).

Таблица 3  
 Table 3

Показатели качества озимой пшеницы, %, I–IV класс – сорт Базис Самарского НИИСХ в опытах при различном питании и технологиях внесения агрегатами «Туман-2» – опрыскиватель (O), «Туман-2М» – мультинжектор (M) в опытах Самарского ГАУ в 2022 году

Quality indicators of winter wheat, %, I–IV class – the Basis variety of the Samara Research Institute in experiments with different nutrition and application technologies with the units Tuman-2 – sprayer (S), Tuman-2M – multi-injector (M) in the experiments of the Samara GAU in 2022

Варианты опытов / Variants of experiments	Протеин, белок, % (класс) / Protein, % (class)	Влажность, % / Humidity, %	Массовая доля сырой клейковины, % (класс) / Mass fraction of raw gluten, % (class)	Качество сырой клейковины, ед. прибора ИДК, % (класс) / Raw gluten quality, units device, % (class)	Стекловидность, % (класс) / Virtuosity, % (class)
1. Контроль, аммиачная селитра / Control, ammonium nitrate	11,579 (IV)	12,615	19,867 (IV)	67,470 (I)	44,919 (II)
2. (O) КАС-32-200 л/га / (S) КАС-32-200 l/ha	11,659 (IV)	12,796	20,422 (III)	68,023 (I)	45,479 (II)
3. (M) КАС-32-200 л/га / (M) КАС-32-200 l/ha	12,797 (III)	12,442	22,551 (II)	69,072 (I)	47,085 (II)
4. (M) КАС-32-300 л/га / (M) КАС-32-300 l/ha	14,318 (I)	12,396	25,163 (II)	63,225 (I)	43,459 (II)
5. (M) КАС-32-350 л/га / (M) КАС-32-350 l/ha	14,269 (I)	12,816	25,407 (II)	67,243 (I)	46,566 (II)
6. КАС-32 (O) – 200 л/га (M) – 250 л/га / КАС-32 (S) – 200 l/ha (M) – 250 l/ha	13,828 (I)	12,600	24,798 (II)	65,444 (I)	44,836 (II)
7. КАС+S-200 л/га + гумат калия-5 л/га + Cu + Zn + Br-0,5 кг/га + ингибитор 0,1 кг/га / КАС+S-200 l/ha + gum. Potassium 5 l/ha + Cu + Br + Zn-0.5 kg/ha + inhibitor 0,1 kg/ha	19,780 (I)	12,620	24,452 (II)	67,039 (I)	44,060 (II)

### Обсуждение и заключение

1. На повышение урожайности и качества возделываемых сельскохозяйственных культур по результатам наших многолетних исследований значительным образом влияют азотные жидкие удобрения на основе карбамидно-аммиачной смеси КАС, производимые ПАО «Куйбышев Азот» (г. Тольятти, Самарская обл.), особенно с добавлением мезоэлемента серы (S) КАС+S, гумата калия и недостающих в почве микроэлементов: Cu, Zn, Br.

2. При применении КАС наиболее эффективной технологией его внесения, особенно в засушливые годы, является внутрпочвенное инъекторное внесение ликвилайзерами. В наших опытах хорошие результаты показал мультиинжектор

«Туман-2М» российского производства ООО «Пегас-Агро» (г. Самара).

3. Проведенные Самарским ГАУ полевые сравнительные испытания показывают, что применение инновационных технологий внесения КАС+S способствует увеличению урожайности озимой пшеницы сорта Базис до 51,8 %, а также приводит к повышению ее классности по белку с III до I кл., а по клейковине – с III до II кл., по сравнению с пшеницей, не обработанной жидкими удобрениями.

4. В целом жидкие минеральные удобрения КАС имеют преимущество, по сравнению с твердыми, особенно в засушливые годы, что особенно актуально в условиях прогнозируемого глобального потепления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирюшин В. И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. 2018. № 3. С. 3–8. doi: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10301>
2. Кирюшин В. И. Научные предпосылки технологической модернизации земледелия в России // Известия Международной академии аграрного образования. 2017. № 36. С. 18–22. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30707930> (дата обращения: 03.12.2022).
3. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139. doi: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
4. Кирюшин В. И. Научные предпосылки оптимизации использования земельных ресурсов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 4. С. 7–10. doi: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/7-10>
5. Сычев В. Г., Милащенко Н. З., Шафран С. А. Агрохимические аспекты получения высококачественного зерна в России // Плодородие. 2018. № 1. С. 18–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32466615> (дата обращения: 03.12.2022).
6. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–13. doi: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125>
7. Факторы урожайности озимой пшеницы в условиях Нечерноземья / Б. И. Сандухадзе [и др.] // Плодородие. 2021. № 3. С. 66–70. doi: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.12>
8. Реализация потенциала продуктивности и качества сортов озимой пшеницы на разных уровнях азотного питания / Б. И. Сандухадзе [и др.] // Агрохимический вестник. 2020. № 5. С. 23–27. URL: <https://clck.ru/33WibP> (дата обращения: 03.12.2022).
9. Влияние различных доз азотных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы / В. И. Мазалов [и др.] // Земледелие. 2019. № 4. С. 19–21. doi: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10404>
10. Агротехнические и агрохимические аспекты оптимизации азотного питания озимой трикале на дерново-подзолистой почве центрального Нечерноземья РФ / В. В. Конончук [и др.] //

Аграрная Россия. 2022. № 4. С. 7–14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48294712> (дата обращения: 03.12.2022).

11. Эффективность систем удобрения и источников азота при возделывании озимых и яровых зерновых культур в севообороте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Центрального Нечерноземья / В. В. Конончук [и др.] // *Агрехимический вестник*. 2022. № 2. С. 15–21.

12. Оптимизация азотного питания озимой пшеницы в центре Нечерноземной зоны Российской Федерации с использованием почвенной и растительной диагностики / В. В. Конончук [и др.] // *Агрехимический вестник*. 2022. № 3. С. 3–9.

13. Реакция почвы и растений на внесение азотного удобрения под озимые и яровые зерновые культуры в Центральном Нечерноземье / В. В. Конончук [и др.] // *Агрехимический вестник*. 2021. № 5. С. 54–59.

14. Небытов В. Г., Коломейченко В. В., Мазалов В. И. Высокопродуктивные сорта и удобрения – основа устойчивого наращивания производства зерна озимой пшеницы в условиях Орловской области // *Вестник аграрной науки*. 2019. № 1. С. 11–18. doi: <https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2019.1.11>

15. Влияние минерального питания на интенсивность продукционного процесса у яровой пшеницы / Л. В. Осипова [и др.] // *Плодородие*. 2021. № 6. С. 50–52. doi: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.13>

16. Мамеев В. В., Ториков В. Е., Петрова С. Н. Продуктивность озимой пшеницы при ранневесенней подкормке различными марками азотных и комплексных удобрений в условиях Брянской области // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4. С. 3–10. doi: <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-92-4-3-10>

17. Современное состояние, тенденции и проблемы производства зерна в Российской Федерации / В. Е. Ториков [и др.] // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2022. № 1. С. 15–23. URL: [http://avv-ivgsha.ucoz.ru/agro\\_vet\\_1\\_22\\_ispravlen.pdf](http://avv-ivgsha.ucoz.ru/agro_vet_1_22_ispravlen.pdf) (дата обращения: 03.12.2022).

18. Влияние азотных удобрений и биопрепаратов на урожайность зерна в смешанных бобово-мятликовых агроценозах / А. С. Кононов [и др.] // *Агрехимический вестник*. 2021. № 2. С. 3–9. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45691144> (дата обращения: 03.12.2022).

19. Эффективность подкормок озимой пшеницы различными марками азотных и комплексных удобрений / В. В. Мамеев [и др.] // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. № 6. С. 12–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46669270> (дата обращения: 03.12.2022).

20. Завалин А. А., Соколов О. А. Коэффициент использования растениями азота удобрений и его регулирование // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2019. № 4. С. 71–75. doi: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-14070>

21. Гаврилов В. А., Федорова Ю. Н., Федотова Е. Н. Оценка влияния жидких комплексных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы // *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 2. С. 13–16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43852992> (дата обращения: 03.12.2022).

22. Преимущество жидких минеральных удобрений на базе КАС-32 по сравнению с твердыми – аммиачная селитра – на подсолнечнике и кукурузе / В. А. Милюткин [и др.] // *Нива Поволжья*. 2020. № 3. С. 73–79. doi: <https://doi.org/10.36461/NP.2020.56.3.018>

23. Милюткин В. А., Буксман В. Э. Инновационные технические решения для внесения жидких и твердых минеральных удобрений одновременно с посевом // *Техника и оборудование для села*. 2018. № 10. С. 16–21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36457812> (дата обращения: 03.12.2022).

24. Тютюнов С. И. Комплексная оценка влияния многолетнего применения удобрений на основные показатели плодородия чернозема типичного // *Плодородие*. 2021. № 3. С. 45–48. doi: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.07>

25. Wilson W., Shakya S., Dahl B. Dynamic Changes in Spatial Competition for the Nitrogen Fertilizer Industry in the United States // *Agricultural Systems*. 2015. Vol. 135. P. 10–19. doi: <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2014.11.006>



26. Modern Technology for Cultivation of Agricultural Crops in Zones of “Risk Farming” with Conservation and Accumulation of Atmospheric Moisture / V. A. Milyutkin [et al.] // XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021”. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. Сеп. “Lecture Notes in Networks and Systems”. 2022. P. 138–146. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_15)

*Поступила 05.12.2022; одобрена после рецензирования 20.01.2023; принята к публикации 10.02.2023*

*Об авторах:*

**Милюткин Владимир Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии производства и экспертизы продукции из растительного сырья Самарского ГАУ (446442, Российская Федерация, г. Кинель, ул. Учебная, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-4862>, Researcher ID: [AAZ-5043-2019](https://orcid.org/0000-0001-8948-4862), [oiapp@mail.ru](mailto:oiapp@mail.ru)

**Овчинников Владимир Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-8478>, Researcher ID: [O-6834-2018](https://orcid.org/0000-0003-0350-8478), [ovchinnikovv81@yandex.ru](mailto:ovchinnikovv81@yandex.ru)

*Заявленный вклад авторов:*

В. А. Милюткин – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, проведение лабораторных исследований, формирование выводов, доработка текста.

В. А. Овчинников – литературный анализ, обработка результатов эксперимента, подготовка начального варианта текста и редактирование текста.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Kiryushin V.I. [Tasks of Scientific and Innovative Support of Agriculture in Russia]. *Zemledelie*. 2018;(3):3–8. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10301>
2. Kiryushin V.I. Scientific Prerequisites for Technological Modernization of Agriculture in Russia. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2017;(36):18–22. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30707930> (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
3. Kiryushin V.I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems. *Eurasian Soil Science*. 2019;(9):1130–1139. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
4. Kiryushin V.I. Scientific Prerequisites of Optimization of Land Resources. *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*. 2019;(4):7–10. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/7-10>
5. Sychev V.G., Milaschenko N.Z., Shafran S.A. Agrochemical Aspects of Production of High-Quality Grain in Russia. *Plodorodie*. 2018;(1):18–19. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32466615> (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
6. Sychev V.G., Shafran S.A., Vinogradova S.B. Soil Fertility in Russia and Ways of Its Regulation. *Agrokhimia*. 2020;(6):3–13. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125>
7. Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Afanasev R.A., et al. [Winter Wheat Yield Factors in the Non-Black Soil Region]. *Plodorodie*. 2021;(3):66–70. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.12>
8. Sandukhadze B.I., Kuzmich M.A., Bugrova V.V., et al. Realization of Productivity Potential and Quality of Winter Wheat Varieties at Different Levels of Nitrogen Nutrition. *Agrochemical Herald*. 2020;(5):23–27. Available at: <https://clck.ru/33WibP> (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

9. Mazalov V.I., Mosina O.M., Hmyzova N.G., Donskoj M.M. Influence of Various Doses of Nitrogen Fertilizers on Yield and Quality of Winter Wheat Grain. *Zemledelie*. 2019;(4):19–21. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10404>

10. Kononchuk V.V., Timoshenko S.M., Medvedev A.M., et al. Agrotechnical and Agrochemical Aspects of Optimizing Nitrogen Nutrition of Winter Triticale on Sod-Podzolic Soil of the Central Non-Chernozem Region of the Russian Federation. *Agrarnaya Rossiya*. 2022;(4): 7–14. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48294712> (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

11. Kononchuk V.V., Timoshenko S.M., Shtyrkhunov V.D., Nazarova T.O. [Efficiency of Fertilizer Systems and Nitrogen Sources for Winter and Spring Grain Crops in the Rotation on Sod-Podzol Medium-Loam Soil of the Central Black Earth Region]. *Agrokhimicheskij vestnik*. 2022;(2):15–21. (In Russ.)

12. Kononchuk V.V., Timoshenko S.M., Shtyrkhunov V.D., Nazarova T.O. [Optimization of Nitrogen Nutrition of Winter Wheat in the Center of the Non-chernozem Zone of the Russian Federation Using Soil and Plant Diagnostics]. *Agrokhimicheskij vestnik*. 2022;(3):3–9. (In Russ.)

13. Kononchuk V.V., Timoshenko S.M., Shtyrkhunov V.D., Nazarova T.O. [Soil and Plant Response to Nitrogen Fertilizer Application for Winter and Spring Cereals in Central Non-Chernozem Region]. *Agrokhimicheskij vestnik*. 2021;(5):54–59. (In Russ.)

14. Nebytov V.G., Kolomeychenko V.V., Mazalov V.I. [High-Yield Varieties and Fertilizers Are the Basis for Sustainable Increase in Winter Wheat Grain Production in the Orel Region]. *Vestnik agrarnoy nauki*. 2019;(1):11–18. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2019.1.11>

15. Osipova L.V., Vernichenko I.V., Puhalskaya N.V., et al. The Influence of Mineral Nutrition on the Intensity of the Production Process in Spring Wheat. *Plodородie*. 2021;(6):50–52. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.13>

16. Mameev V.V., Torikov V.E., Petrova S.N. Productivity of Winter Wheat During Early Spring Fertilizing with Various Nitrogen and Complex Fertilizers in the Bryansk Region. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022;(4):3–10. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-92-4-3-10>

17. Torikov V.E., Vaskin V.F., Dronov A.V., Vaskina T.I. Current State, Trends and Problems of Grain Production. *Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2022;(1):15–23. Available at: [http://avv-ivgsha.ucoz.ru/agro\\_vet\\_1\\_22\\_ispravlen.pdf](http://avv-ivgsha.ucoz.ru/agro_vet_1_22_ispravlen.pdf) (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

18. Kononov A.S., Belous N.M., Torikov V.E., et al. Influence of Nitrogen Fertilizers and Biopreparations on Grain Yield in Mixed Legume-Bluegrass Agrocoenosis. *Agrochemical Herald*. 2021;(2):3–9. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45691144> (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

19. Mameev V.V., Torikov V.E., Petrova S.N., et al. Efficiency of Feeding Winter Wheat by Different Brands Nitrogen and Complex Fertilizers. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021;(6):12–19. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46669270> (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

20. Zavalin A.A., Sokolov O.A. Utilization by Plants of Nitrogen Fertilizer and Its Regulation. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2019;(4):71–75. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-14070>

21. Gavrilo V.A., Fedorova Yu.N., Fedotova Ye.N. [Evaluation of the Effect of Liquid Complex Fertilizers on Winter Wheat Grain Yield]. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2020;(2):13–16. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43852992> (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

22. Milyutkin V.A., Sysyoev V.N., Makushin A.N., et al. Advantages of Liquid Mineral Fertilizers on the Base of KAS-32 in Comparison with Solid Fertilizers (Ammonium Nitrate) on Sunflower and Corn. *Niva Povolzhya*. 2020;(3):73–79. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.36461/NP.2020.56.3.018>

23. Milyutkin V.A., Buksman V.E. Innovative Engineering Solutions for Applying Liquid and Solid Mineral Fertilizers Simultaneously with Sowing. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018;(10):16–21. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36457812> (accessed 03.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

24. Tyutyunov S.I. Comprehensive Assessment of the Long-Term Use of Fertilizers on the Main Indicators of the Fertility of Typical Chernozem. *Plodorodie*. 2021;(3):45–48. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.07>

25. Wilson W., Shakya S., Dahl B. Dynamic Changes in Spatial Competition for the Nitrogen Fertilizer Industry in the United States. *Agricultural Systems*. 2015;135:10–19. doi: <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2014.11.006>

26. Milyutkin V.A., Buxmann V., Mozgovoy A., et al. Modern Technology for Cultivation of Agricultural Crops in Zones of “Risk Farming” with Conservation and Accumulation of Atmospheric Moisture. In: XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021”. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. Cep. “Lecture Notes in Networks and Systems”. 2022. p. 138–146. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_15)

*Submitted 05.12.2022; revised 20.01.2023; accepted 10.02.2023*

*About the authors:*

**Vladimir A. Milyutkin**, Dr.Sci. (Engr.), Professor of the Chair of Production Technology and Expertise of Products from Vegetable Raw Materials, Samara State Agrarian University (2 Uchebnaya St., Kinel 446442, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-4862>, Researcher ID: [AAZ-5043-2019](https://orcid.org/0000-0001-8948-4862), [oiapp@mail.ru](mailto:oiapp@mail.ru)

**Vladimir A. Ovchinnikov**, Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-8478>, Researcher ID: [O-6834-2018](https://orcid.org/0000-0003-0350-8478), [ovchinnikovv81@yandex.ru](mailto:ovchinnikovv81@yandex.ru)

*Authors contribution:*

V. A. Milyutkin – scientific guidance, formulation of the basic research concept, conducting laboratory research, drawing conclusions, finalizing the text.

V. A. Ovchinnikov – literary analysis, processing the results of the experiment, preparing the initial version of the text, and editing the text.

*All authors have read and approved the final manuscript.*