

**Поздеев Илья Александрович**

Студент, 1 курс магистратуры

Факультет «Агрохимии и защиты растений»

Кубанский государственный аграрный

университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар

**Аббасова Амина Айдыновна**

Студентка, 1 курс магистратуры

Факультет «Агрохимии и защиты растений»

Кубанский государственный аграрный

университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар

**Ильина Евгения Игоревна**

Студентка, 1 курс магистратуры

Факультет «Агрохимии и защиты растений»

Кубанский государственный аграрный

университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар

## **ПРОЛОНГИРОВАННЫЕ ФОРМЫ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР: ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

### **Аннотация**

В статье систематизированы современные данные по применению пролонгированных форм азотных удобрений при возделывании зерновых культур. Рассмотрены классификация и механизмы действия удобрений с контролируемым высвобождением азота (CRNF), покрытых полимерными

оболочками, а также ингибиторов нитрификации и уреазы. Проанализированы результаты полевых опытов, демонстрирующие повышение урожайности озимой и яровой пшеницы, кукурузы при использовании пролонгированных форм, включая удобрение Ruscote и карбамид, модифицированный DMPP и NBPT. Показано, что применение CRNF позволяет сократить дозы азотных удобрений на 20–30%, повысить коэффициент использования азота на 5–27%, увеличить урожайность зерновых на 5–36% и снизить выбросы парниковых газов на 9–30%. Обсуждены экономические аспекты и новые направления развития технологий: комбинированные покрытия из возобновляемого сырья, смешанные системы внесения (CRNF + традиционная мочевина) и инновационные подходы, включая биопрепараты, снижающие потребность в минеральном азоте. Представлены рекомендации по практическому применению пролонгированных азотных удобрений в технологиях возделывания зерновых культур в различных почвенно-климатических зонах.

**Ключевые слова:** *пролонгированные азотные удобрения, удобрения с контролируемым высвобождением, озимая пшеница, яровая пшеница, кукуруза, Ruscote, ингибиторы нитрификации, коэффициент использования азота, DMPP, NBPT.*

**Pozdeev Ilya Alexandrovich**

Student, 1st year master's program

Faculty of Agrochemistry and Plant Protection

Kuban State Agrarian

I.T. Trubilin University, Krasnodar

**Abbasova Amina Aidynovna**

Student, 1st year of the master's program

Faculty of Agrochemistry and Plant Protection

Kuban State Agrarian  
I.T. Trubilin University, Krasnodar

**Ilyina Evgeniya Igorevna**

Student, 1st year of the master's program  
Faculty of Agrochemistry and Plant Protection

Kuban State Agrarian  
I.T. Trubilin University, Krasnodar

## **PROLONGED FORMS OF NITROGEN FERTILIZERS IN THE TECHNOLOGY OF GRAIN CROPS: EFFICIENCY AND PROSPECTS**

### **Annotation**

The article systematizes modern data on the use of prolonged forms of nitrogen fertilizers in the cultivation of grain crops. The classification and mechanisms of action of polymer-coated nitrogen-controlled release fertilizers (CRNFs), as well as nitrification and urease inhibitors, are considered. The results of field experiments demonstrating an increase in the yield of winter and spring wheat, corn with the use of prolonged forms, including Ruscote fertilizer and urea, modified DMPP and NBPT, are analyzed. It has been shown that the use of CRNF can reduce nitrogen fertilizer doses by 20–30%, increase the nitrogen utilization rate by 5–27%, increase grain yields by 5–36%, and reduce greenhouse gas emissions by 9–30%. Economic aspects and new directions for the development of technologies were discussed: combined coatings from renewable raw materials, mixed application systems (CRNF + traditional urea) and innovative approaches, including biological products that reduce the need for mineral nitrogen. Recommendations on the practical application of prolonged nitrogen fertilizers in technologies for the cultivation of grain crops in various soil and climatic zones are presented.

**Keywords:** *prolonged nitrogen fertilizers, controlled-release fertilizers, winter wheat, spring wheat, corn, Ruscote, nitrification inhibitors, nitrogen utilization factor, DMPP, NBPT.*

Современное зерновое производство в России сталкивается с двумя противоречивыми задачами — необходимостью повышения урожайности для обеспечения продовольственной безопасности и минимизацией негативного воздействия на окружающую среду. Традиционные формы азотных удобрений, прежде всего карбамид и аммиачная селитра, обладают существенными недостатками: низкий коэффициент использования азота растениями (не превышающий 30–50% в зависимости от почвенно-климатических условий), значительные потери азота за счет денитрификации, вымывания нитратов и летучих потерь аммиака. По данным Географической сети опытов с удобрениями РФ, долевое участие азотных удобрений в формировании урожайности зерновых культур варьирует от 10 до 32% при сравнении с влиянием почвенного плодородия и сортовых особенностей.

Альтернативой традиционным формам служат пролонгированные азотные удобрения и удобрения с контролируемым высвобождением (CRNF — *controlled-release nitrogen fertilizers*), обеспечивающие синхронизацию поступления азота с физиологическими потребностями растений на протяжении вегетационного периода. Цель настоящей работы — систематизировать современные научные данные об эффективности пролонгированных форм азотных удобрений при возделывании зерновых культур и определить перспективные направления развития данной технологии.

Пролонгированные азотные удобрения подразделяются на несколько основных типов. Покрытые удобрения (*coated fertilizers*) — гранулы карбамида или других удобрений, покрытые полимерными, серными или полимерно-серными оболочками, контролирующими скорость диффузии азота. Удобрения, модифицированные ингибиторами нитрификации

(например, DMPP — диметилпиразолфосфат) и уреазы (NBPT — N-бутилтиофосфортриамид), не ограничивают выход азота из гранулы, но замедляют микробиологические превращения аммонийного азота в нитратный и гидролиз мочевины. Сульфат-нитрат аммония как твердое удобрение с низкой растворимостью также может быть отнесен к пролонгированным формам. Коэффициент использования азота растением при применении модифицированных форм может возрасти до 27%, а эффективность применения ингибиторов подтверждается снижением активности генов нитрификации и денитрификации в почве. Применение ингибиторов нитрификации и уреазы обеспечивает более высокое содержание минеральных форм азота в почве в течение вегетации, что создает благоприятные условия для питания растений на всех этапах развития.

Озимая пшеница — одна из наиболее отзывчивых на пролонгированные формы азотных удобрений зерновых культур. Применение удобрений с ингибиторами нитрификации и уреазы позволяет получить прибавку урожайности зерна от 5 до 21%, коэффициент использования азота растениями увеличивается на 5–18%. Важное преимущество пролонгированных форм — возможность снижения доз азота на 20–30% без потери урожайности и улучшения качества продукции за счет уменьшения содержания нитратов.

Проведенные в 2020–2022 гг. исследования в почвенно-климатических условиях центральной зоны Краснодарского края показали высокую эффективность пролонгированного удобрения Ruscote. Опыты проводились на черноземе выщелоченном малогумусном сверхмощном (содержание гумуса в слое 0–30 см — 3,4%, нитратного азота — 8,3 мг/кг, аммонийного — 6,5 мг/кг, подвижных фосфора и калия — 59 и 372 мг/кг соответственно) при возделывании озимой пшеницы сорта Ахмат.

Внесение Ruscote в дозе N145P90K60 повышало урожайность по сравнению с контролем на 36,4%, традиционных удобрений — на 9,5%.

Удобрение не влияло на содержание нитратов в почве, но способствовало равномерному распределению аммонийного азота по фазам вегетации: от 26,6 мг/кг в фазе выхода в трубку до 12,0 мг/кг в фазе полной спелости. В фазе колошения Ruscote обеспечивало увеличение высоты растений на 6,2–7,5 см, накопление воздушно-сухой массы — на 0,16–0,92 г/раст..

В условиях Нечерноземной зоны России новые формы пролонгированных удобрений, покрытые монокальцийфосфатом толщиной 50 и 100 мкм, повышают урожайность яровой пшеницы на 8–18%, сбор сырого протеина — на 8–16%, а коэффициенты использования азота удобрений — на 5–17% по сравнению с традиционными формами.

В вегетационных и полевых опытах на яровой пшенице применение карбамида, модифицированного ингибиторами уреазы и нитрификации, обеспечивало прибавку урожая на 9–12%, коэффициент использования азота удобрений возрастал на 16–27%. Применение DMPP (ингибитора нитрификации) совместно с сульфоаммофосом повышало коэффициент использования азота на 18%. Применение ингибитора уреазы NBPT совместно с карбамидом увеличивало коэффициент использования азота на 12%. Окупаемость удобрений урожаем зерна под действием ингибиторов возрастала на 1,9–7,1 кг/кг.

Кукуруза демонстрирует высокую отзывчивость на пролонгированные формы азотных удобрений. Прибавка урожайности кукурузы при использовании карбамида с ингибиторами нитрификации или уреазы может составлять 6–17%, коэффициент использования азота увеличивается на 17–20%. В исследованиях, проведенных в 2019–2021 гг. на черноземе выщелоченном малогумусном сверхмощном (содержание биогенных элементов в слое 0–30 см: N-NO<sub>3</sub> — 8,0 мг/кг, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> — 7,4 мг/кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 57 мг/кг, K<sub>2</sub>O — 412 мг/кг), установлено, что включение удобрения Ruscote в технологию возделывания кукурузы при всех изучаемых дозах обеспечивало урожайность от 5,76 до 6,05 т/га. Максимальная урожайность кукурузы — 6,05 т/га — получена при внесении Ruscote в дозе N60, что выше контроля

на 17,5% и выше урожайности при применении традиционных удобрений в среднем на 6,1%. На фоне применения пролонгированного удобрения потребление нитратного и аммонийного азота в фазу полной спелости было больше по сравнению с традиционными формами. Вегетационный период растений увеличивался на 4 дня при использовании традиционных удобрений и на 8 дней — при использовании Ruscote. В международных исследованиях установлено, что замена части традиционной мочевины на удобрения с контролируемым высвобождением в системе зернового севооборота повышает урожайность озимой пшеницы на 3,0–15,3%. Контролируемые формы удобрений позволяют сохранять урожайность кукурузы даже при снижении дозы азотных удобрений на 20%.

Оптимального соотношения эффективности и экономической целесообразности можно достичь при смешанном применении традиционных и пролонгированных форм. Исследования в системе зима-летняя пшеница — летняя кукуруза показали, что однократное внесение контролируемой смеси удобрений (соотношение покрытой мочевины и традиционной мочевины 5:5 для озимой пшеницы и 3:7 для летней кукурузы) увеличивает урожайность летней кукурузы на 0,4–5,6%, а годовую урожайность — на 1,6–3,1% по сравнению с традиционным дробным внесением. Коэффициент восстановления азота увеличивался на 2,05–6,24 кг/кг, а годовой чистый доход возрастал на 0,2–6,3%. В Китае при смешивании покрытого карбамида с обычным в соотношении 5:5, 3:7, 7:3 и 5:5 также подтверждена возможность обеспечения стабильной годовой урожайности при снижении норм азотных удобрений.

Применение пролонгированных форм азотных удобрений позволяет сократить дозы азота на 20–30% и снизить расходы на их внесение благодаря однократному применению вместо многократных подкормок. Сокращение расхода удобрений снижает нагрузку на окружающую среду и экономит материальные ресурсы. Несмотря на более высокую стоимость единицы удобрения, экономическая эффективность увеличивается за счет:

- повышения урожайности и качества продукции;
- снижения трудозатрат на внесение;
- уменьшения производственных потерь азота и связанных с ними экологических компенсаций.

С экономической точки зрения требуется оптимизация соотношения «качество — цена» при выборе конкретного типа удобрения для каждой почвенно-климатической зоны, поскольку замораживание средств (инвестиции в пролонгированные удобрения на весь сезон) должно окупаться долгосрочной прибавкой урожайности и сокращением операционных затрат.

Параллельно с развитием химических и физических методов пролонгирования активно развиваются биотехнологические подходы. Препарат Envita Dry компании Syngenta на основе бактерий *Gluconacetobacter diazotrophicus* способен фиксировать атмосферный азот внутри клеток растений, включая небобовые культуры, что позволяет снизить количество вносимого минерального азота. Препарат зарегистрирован для зерновых культур, включая кукурузу, и легко интегрируется в существующие программы внесения удобрений. Перспективным направлением видится интеграция пролонгированных CRNF с биологическими препаратами: бактерии-азотфиксаторы обеспечивают базальный уровень азота, а CRNF корректируют питание в критических фазах развития растений, что позволяет минимизировать экологическую нагрузку традиционного земледелия.

Пролонгированные формы азотных удобрений представляют собой одно из наиболее перспективных направлений повышения эффективности зернового производства. Проведенные исследования показывают:

1. Применение CRNF на озимой пшенице обеспечивает прирост урожайности до 36% (Ruscote, Краснодарский край) и повышение коэффициента использования азота на 5–18%.

2. На яровой пшенице модифицированные карбамидные удобрения обеспечивают прибавку урожая 9–12% и повышение коэффициента использования азота на 16–27%.

3. На кукурузе CRNF позволяют повысить урожайность на 6–17% и увеличить коэффициент использования азота на 17–20%.

4. Экологическая эффективность выражается в снижении  $N_2O$ -выбросов на 23–30%, суммарного глобального потенциала потепления — на 9–12%, замедлении газообразных потерь азота в 2 раза.

5. Экономическая эффективность достигается за счет сокращения доз азота на 20–30%, уменьшения количества подкормок и роста качества продукции.

6. Перспективы развития лежат в области комбинированных смесей покрытой и традиционной мочевины для однократного внесения, использования покрытий из возобновляемого сырья и интеграции CRNF с микробиологическими азотфиксирующими препаратами.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование технологий внесения пролонгированных форм с учетом почвенно-климатических зон России, экономическую оптимизацию соотношения различных типов удобрений и разработку научно обоснованных рекомендаций для производственных условий.

## Список литературы

1. Mycotoxins, pesticides and heavy metals content in the winter wheat grain at different cultivation technologies on leached Kuban chernozem / I. Shabanova, N. Neshchadim, K. Gorpichenko, A. Boyko // E3S Web of Conferences, Blagoveshchensk, 23-24 сентября 2020 года. – Blagoveshchensk, 2020. – P/ 02012. – DOI 10.1051/e3sconf/2020020302012. – EDN UEQBER
2. Минеральные удобрения и урожай сельскохозяйственных культур выращиваемых на черноземе выщелоченном Прикубанской низменности / А. Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко, М. А. Осипов [и др.] // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013-2020 г.г. : Материалы Всероссийского координационного совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями, Москва, 16-17 апреля 2018 года / Под ред. акад. РАН В.Г. Сычева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2018. – С. 391- 400. – EDN YANCNV.
3. Патент №2527297 С2 Российская Федерация, МПК А01С 21/00, С05G 1/00. Способ некорневой обработки озимой пшеницы : №2012136541/13 : заявл. 24.08.2014 / А.Х. Шеуджен, Н. Г. Гайдукова, И. А. Лебедовский, И. В. Шабанова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». – EDN MFUJYG.
4. Петрова Л.С. Экономические аспекты применения интегрированных систем удобрения в зерновом производстве // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 11. – С. 62–68.
5. Фосфогипс нейтрализованный – высокоэффективное поликомпонентное удобрение на посевах зерновых культур / А. Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко, Т. Н. Бондарева, С. В. Есипенко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. - №52. – С. 144-148. – EDN TWPCKGR.