

АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РИСОВОГО АГРОЦЕНОЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КАРБАМИДА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИНГИБИТОРОМ УРЕАЗЫ

*А.Х. Шеуджен, ак. РАН, Т.Н. Бондарева, к.с.-х.н., Х.Д. Хурум, д.с.-х.н., М.А. Перепелин,
e-mail: taxim.perepelin@yandex.ru*

ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»

*ФГБНУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»
ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация*

Представлены результаты изучения влияния ингибитора уреазы NBPT [N-(n-бутил) тиофосфотриамид] на потери азота из карбамида и азотный режим лугово-черноземной почвы под посевом риса. Установлено, что введение в карбамид ингибитора уреазы NBPT (карбамид UTEC) сокращает потери аммонийного азота с фильтрационными и сбросными водами на 27,1, 37,0, 16,2 % и 25,0, 31,8, 30,3 % соответственно при внесении удобрения из расчета N₅₅, N₆₄, N₁₃₈. Суммарные потери аммонийного азота сокращаются на 22,8–34,5 %. Ингибитор уреазы NBPT замедляет процесс трансформации амидного азота в аммонийную его форму, что обуславливает снижение потерь азота карбамида UTEC. Это в свою очередь ограничивает поступление нитратов в сбросные и фильтрационные воды, что предотвращает загрязнение окружающей среды и позитивно сказывается на азотном статусе почвы.

Исследования азотного режима почвы и продуктивности рисового агроценоза проводили на рисовой оросительной системе ООО «АНТЦ риса» (Республика Адыгея, Тахтамукайский район). Карбамид и карбамид UTEC вносили из расчета N₁₃₈ в один, два и три приема. За контроль принимали технологию хозяйства – внесение обычного карбамида в три приема. Экспериментально подтверждено, что ингибитор NBPT, напыленный на гранулы карбамида (UTEC) способствовал закреплению азота удобрений почвой, что проявлялось в увеличении содержания аммонийного азота в почве. При внесении карбамида UTEC до посева риса и в фазе всходов его содержание в почве в фазы всходы и начало кущения было ниже, чем при аналогичной схеме применения карбамида на 6,1 и 4,0 %, а в последующие фазы вегетации выше на 4,5 и 5,3 %. При внесении азотного удобрения в три приема содержание аммонийного азота в почве на протяжении всего вегетационного периода при использовании UTEC было выше на 4,3–4,9 % и 13,5–16,5 % соответственно в фазы всходы и кущение. После фазы выметывания существенных различий в обеспеченности растений риса азотом не наблюдалось.

Вследствие повышения обеспеченности растений риса азотом при использовании карбамида UTEC урожайность зерна в зависимости от схемы внесения азотного удобрения возрастала на 3,7–6,5 % по сравнению с традиционным карбамидом.

Ключевые слова: азот, ингибитор аммонификации, карбамид, карбамид UTEC, рисовые почвы, рис, урожайность.

Для цитирования: Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Хурум Х.Д., Перепелин М.А. Азотный режим лугово-черноземной почвы и продуктивность рисового агроценоза при использовании карбамида, модифицированного ингибитором уреазы// Плодородие. – 2023. – №1. – С. 9-14. DOI: 10.25680/S19948603.2023.130.02.

Азот входит в состав белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла, ферментов, большинства витаминов и других органических соединений, играющих важную роль в процессах обмена веществ в растении. Известно, что урожай сельскохозяйственных культур, в том числе риса, находится в прямой зависимости от степени обеспеченности агроценоза этим элементом. Растения используют азот, высвобождающийся в результате минерализации органического вещества, биологически фиксированный и удобрений. Азот, учитывая его первостепенное значение для жизнедеятельности растений, изучают уже более ста лет. Исследователи пришли к выводу, что основной проблемой при оптимизации обеспеченности растений этим элементом являются его потери из удобрений, которые могут достигать 60 %. В связи с этим ведутся масштабные исследования поиска путей сокращения этих потерь [5, 8–11].

Одним из способов снижения потерь азота из удобрений является применение ингибиторов нитрификации. При внесении ингибиторов нитрификации в количестве 0,5–2,0 % от массы азота удобрения на 1–2 меся-

ца подавляется жизнедеятельность нитрифицирующих микроорганизмов. Затормаживая процесс нитрификации, они способствуют снижению потерь азота из удобрений. В затопленной рисовой почве также установлено избирательное действие ингибиторов нитрификации на бактерии, осуществляющих первую фазу нитрификации, в результате которой происходят консервация аммонийного азота и торможение образования нитратов. Это позволяет уменьшить кратность внесения азотных удобрений при выращивании риса [4, 7].

В настоящее время испытано большое количество химических соединений в качестве ингибиторов уреазы в почве, среди которых наиболее эффективны: N-(n-бутил) тиофосфотриамид (NBPT), гидрохинон, N(n-пропил) тиофосфотриамид (NPPT), фенилфосфордиамидат (PPD), тиосульфат аммония и структурные аналоги мочевины [2, 3, 10]. Эти соединения подавляют активность уреазы, катализирующую гидролиз мочевины, конечными продуктами которого являются аммиак и диоксид углерода.

Для сокращения затрат на внесение ингибиторов производители разрабатывают инновационные формы азотных удобрений, в которых он вводится в их состав. Одним из перспективных для рисоводства является карбамид УТЕС, в котором ингибитор уреазы N-(n-бутил) тиофосфотриамид (NBPT) напыляют на гранулы карбамида. Принцип действия данного ингибитора заключается в блокировании активности уреазы в зоне контакта гранулы удобрения с почвенным раствором. Благодаря этому трансформация амидного азота карбамида в аммонийную форму задерживается на 8-15 дней [1, 6].

Цель исследований – изучить влияние ингибитора аммонификации NBPT [N-(n-бутил) тиофосфотриамид] на потери азота карбамида со сбросными и фильтрационными водами, а также динамику содержания в почве аммонийного и нитратного азота.

Методика. Потери азота с фильтрационными и сбросными водами изучали в лабораторном опыте, включающем 7 вариантов: из них один – без удобрения, три – с традиционным карбамидом и три – с карбамидом, модифицированным ингибитором уреазы NBPT (карбамид УТЕС). Азотные удобрения вносили из расчета N_{55} , N_{64} и N_{138} .

Для учета потерь азота из почвы и удобрений использовали цилиндрические воронки Нутчи с фильтрующей стеклянной пластинкой емкостью 1000 мл. В сосуды помещали по 500 г почвы, отобранной из чека, где закладывали полевые опыты. Удобрения вносили в верхний 0-3 см слой почвы. В течение трех суток после набивки сосудов и внесения удобрений для провоцирования процесса нитрификации почву поддерживали во влажном состоянии (влажность почвы доводили до 26 %). После этого на поверхности создавали постоянный слой воды в 3 см. Для этих целей использовали дистиллированную воду. Характерную для почв рисовых полей скорость фильтрации (0,5 см/сут) устанавливали с помощью кранов на водоотводящих трубках. В течение 7 суток собирали фильтрационные воды, а воду, оставшуюся над почвой, сливали отдельно в сосуды через сифон. В фильтрационных и сбросных водах определяли содержание аммонийного и нитратного азота. После почву в сосудах подсушивали до влажности 26 % для возобновления процесса нитрификации и снова создавали слой воды в 3 см на 7 суток. Пробы фильтрационной и сбросной воды для учета потерь азота отбирали три раза через 7 суток после затопления почвы.

Динамику содержания аммонийного и нитратного азота в почве под рисом изучали в полевом опыте, размещенном на рисовой оросительной системе Адыгейского научно-технического центра риса (Тахтамукайский район, Республика Адыгея). Схема опыта включала 8 вариантов: 1) N_{55}^1 (до посева) + N_{46} (всходы) + N_{37} (кущение) (традиционная схема применения азотного удобрения); 2) N_{138} (до посева); 3) N_{138} (до посева); 4) N_{69} (всходы) + N_{69} (кущение); 5) N_{69} (всходы) + N_{69} (кущение); 6) N_{69} (до посева) + N_{69} (всходы); 7) N_{55} (до посева) + N_{46} (всходы) + N_{37} (кущение); 8) N_{55} (до посева) + N_{46} (всходы) + N_{37} (кущение). Азотные удобрения применяли на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений из расчета $P_{80}K_{60}$. Контролем служил вариант с традиционной схемой внесения

обычного карбамида в три приема: до посева, в фазы всходы и кушения.

Площадь опытных делянок 100 м². Повторность 4-кратная, размещение вариантов рендомизированное. Сорт риса – Чибиб. Почва опытного участка – лугово-черноземная тяжелосуглинистая со следующими агрохимическими показателями: валовое содержание азота – 0,22 %, фосфора – 0,20, калия – 1,3, гумуса – 3,5 %, pH 6,6. Агротехника риса – рекомендованная ФГБНУ «ФНЦ риса» для данной зоны рисосеяния. По фазам вегетации растений риса на всех делянках проводили отбор почвы в слое 0-20 см. Аммонийный азот определяли колориметрически в 0,1 н. КСl с использованием фенола, нитратный – дисульфифеноловой кислотой по Грандваль-Ляжу.

Результаты и их обсуждение. При внесении удобрений в эквивалентных количествах потери аммонийного азота из карбамида УТЕС ниже, чем из обычного карбамида. В зависимости от дозы вносимых удобрений разница суммарных потерь NH_4^+ с фильтрационными и сбросными водами составляла: 0,70, 1,25, 0,80 мг/л (27,1, 37,0, 16,2 %) и 0,58, 0,96, 1,28 мг/л (25,0, 31,8, 30,5 %) соответственно при внесении удобрения из расчета N_{55} , N_{64} и N_{138} (рис. 1).

При внесении в почву карбамида УТЕС, помимо уменьшения суммарных потерь аммонийного азота, отмечено замедление скорости его отчуждения. Так, из обычного карбамида, внесенного в дозах N_{55} , N_{64} и N_{138} , потери аммонийного азота с фильтрационными водами в первые 7 сут. Составили, соответственно, 49,2, 50,0 и 47,9 % от суммарных, а со сбросными водами – 52,2, 49,0 и 46,7 %. В то же время в вариантах с карбамидом УТЕС эти потери составляли 35,1, 30,0 и 43,6 % с фильтрационными и 33,9, 30,1 и 24,3 % со сбросными водами.

В последующие 7 суток количество аммония в фильтрационных и сбросных водах во всех вариантах опыта было практически одинаковым. Однако в целом за 14 суток потери аммонийного азота из УТЕС были меньше и составили 74,5, 71,4 и 83,1 % с фильтрационными водами и 79,3, 74,3 и 72,6 % от их суммарного количества соответственно при дозах удобрения N_{55} , N_{64} и N_{138} . Для сравнения эти потери из обычного карбамида составляли 80,6, 78,1 и 83,2 % со сбросными и 82,3, 78,5 и 81,7 % с фильтрационными водами соответственно при дозах удобрения N_{55} , N_{64} и N_{138} . Суммарные потери аммонийного азота со сбросными и фильтрационными водами испытуемый ингибитор уреазы сокращает на 22,8–34,5 %.

Во всех вариантах опыта с равными дозами азотных удобрений наблюдалась тенденция к небольшому снижению суммарных потерь нитратного азота при внесении карбамида УТЕС. Это является следствием замедления трансформации форм азота удобрений: $N-NH_2 \rightarrow N-NH_4 \rightarrow N-NO_3$ (рис. 2).

Таким образом, экспериментальные данные указывают на блокирование, как минимум первые 7 суток, процесса аммонификации ингибитором уреазы NBPT. Это проявляется не только в сокращении суммарных потерь аммонийного азота карбамида, но и в замедлении скорости данного процесса. Наблюдаемая тенденция к снижению потерь нитратного азота является следствием консервации в почве азота в амидной и аммонийной формах.

¹ N_M – карбамид.

² NUTEC – карбамид УТЕС.

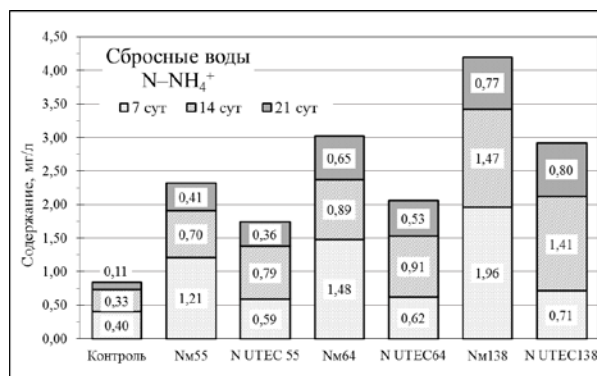
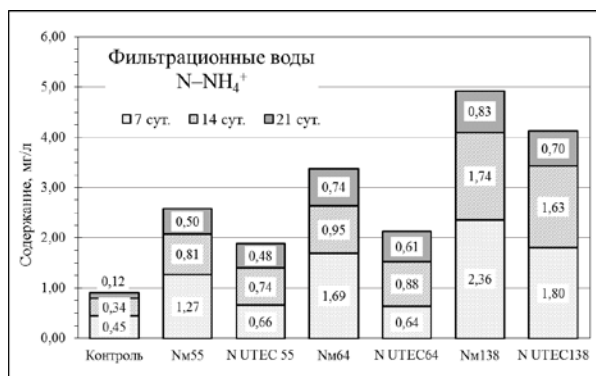


Рис. 1. Потери аммонийного азота из карбамида и карбамида UTEC

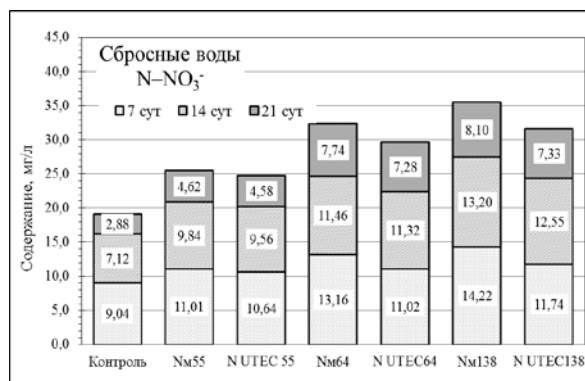
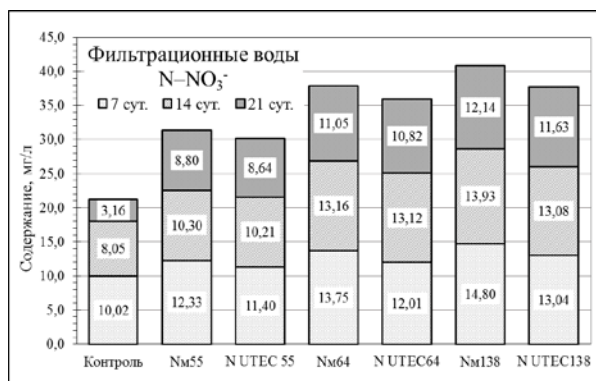


Рис. 2. Потери нитратного азота из карбамида и карбамида UTEC

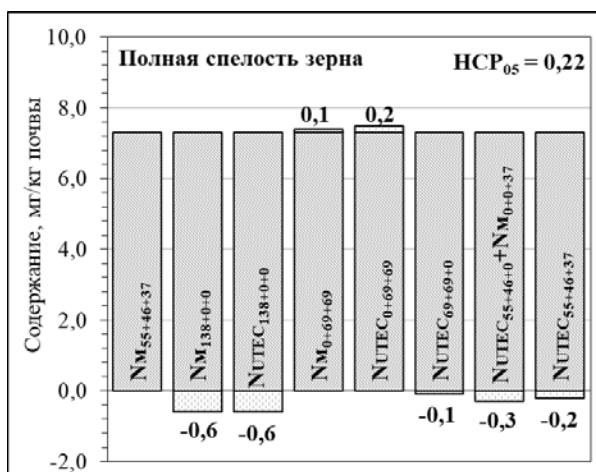
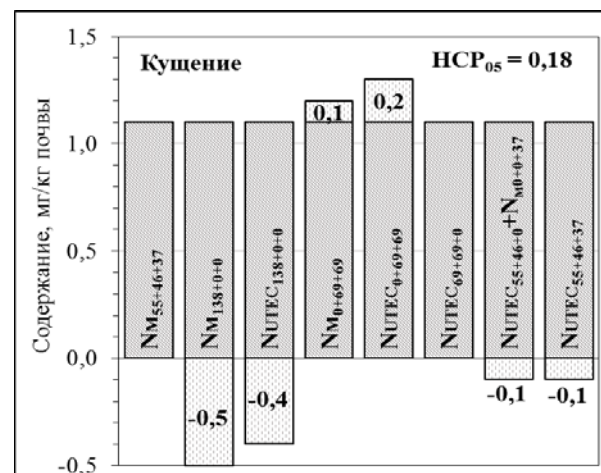
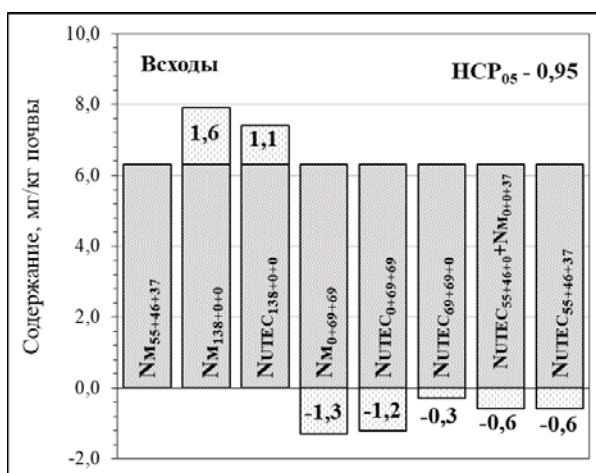


Рис. 3. Динамика содержания нитратного азота в почве под рисом при внесении карбамида и карбамида UTEC

До посева риса в лугово-черноземной почве опытного участка содержание нитратного азота (15,8 мг/кг почвы) немного больше, чем аммонийного (14,3 мг/кг почвы). Но уже в фазе всходов риса, т. е. после затопления почвы и развития восстановительных процессов, количество его сокращалось в зависимости от дозы внесенного азотного удобрения в 2-3 раза, кушения растений – в 5-7 раз, а к фазе выметывания – вообще не обнаруживался. После сброса воды с рисового поля (чека) в почве вновь появляется нитратный азот, что связано с развитием окислительных процессов и возобновлением нитрификации. Достоверных различий по содержанию в лугово-черноземной почве нитратного азота при применении традиционного и модифицированного ингибитором уреазы карбамида не установлено (рис. 3).

При внесении карбамида и карбамида UTEC из расчета N_{138} полной дозой до посева увеличение содержания аммонийного азота относительно контроля (внесение азотного удобрения в три приема) наблюдается до фазы выметывания. Затем, вследствие отсутствия подкормок, потребления азота растениями риса и потерь, количество аммонийного азота в почве снижается и становится ниже, чем при традиционной схеме внесе-

ния азотного удобрения (контроль) на 12,1 и 8,2 %. При этом в фазы всходы и кушение растений в варианте с внесением всей дозы карбамида до посева риса отмечается более высокое содержание NH_4^+ , чем при внесении карбамида UTEC (рис. 4).

В вариантах с применением карбамида и карбамида UTEC в два приема (без допосевого внесения азотного удобрения) содержание аммонийного азота в почве в фазе всходов риса было на 34,3% ниже, чем при традиционной схеме внесения удобрения. После проведения подкормки в фазе всходов содержание аммонийного азота в почве повышается и становится таким же, как и на контроле. В фазе выметывания риса содержание аммонийного азота в почве в варианте с применением карбамида UTEC в два приема (без допосевого внесения азотного удобрения) выше, чем в аналогичном варианте с карбамидом на 5,3%, а в варианте с традиционной схемой его внесения на 11,5%. В то же время применение карбамида UTEC в два приема – до посева и в фазе всходов риса – обеспечивало повышение содержания в почве аммонийного азота в фазе всходов на 6,8 % и в фазе кушения на 14,3 % относительно контроля.

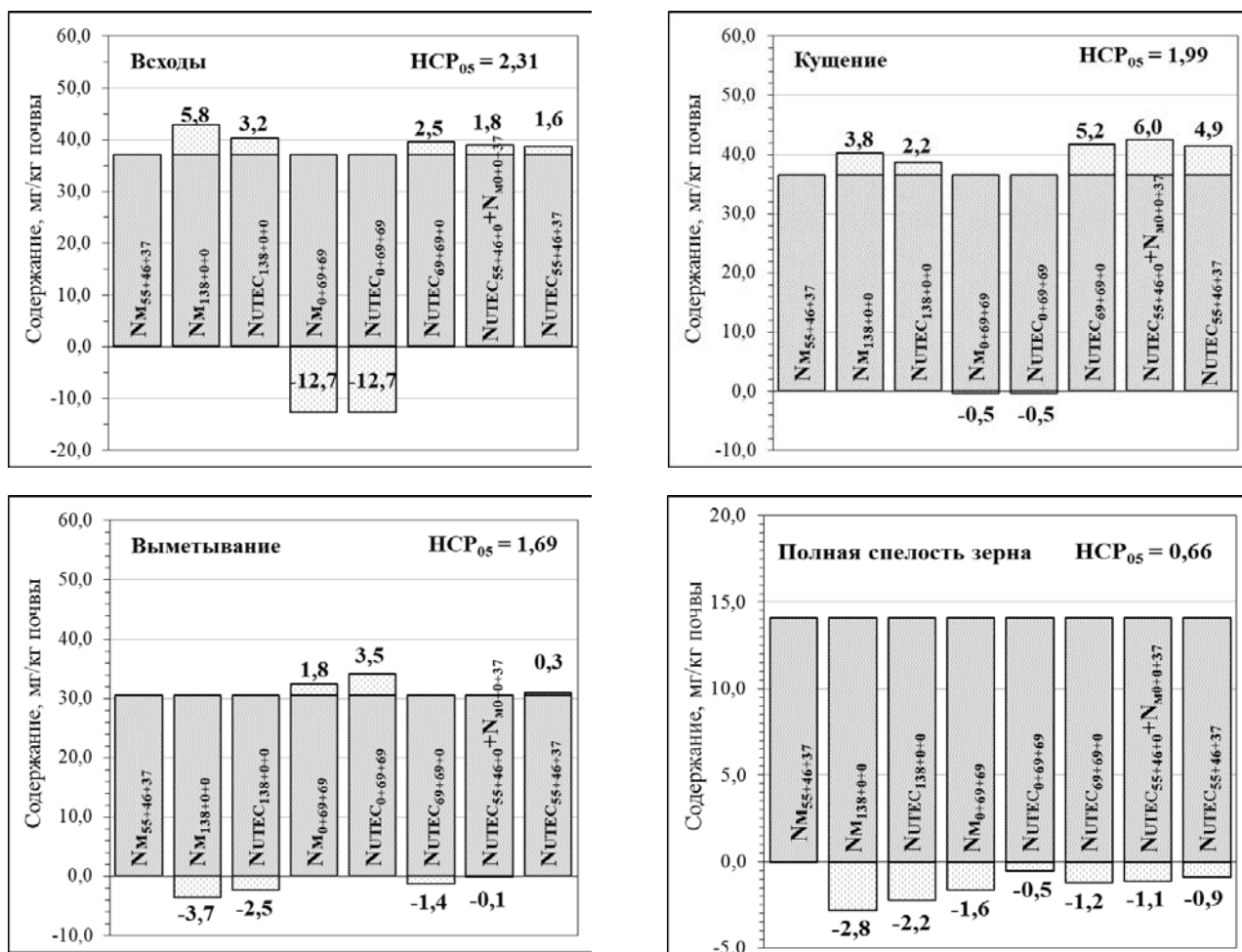


Рис. 4. Динамика содержания аммонийного азота в почве под рисом при внесении карбамида и карбамида UTEC

При внесении карбамида UTEC в три приема отмечено увеличение содержания в почве аммонийного азота в сравнении с контролем, т. е. с внесением карбамида в три приема. В фазе кушения риса, критической в отношении обеспеченности растений азотом, его содер-

жалось на 4,9 мг/кг почвы (13,5 %) больше, чем при внесении карбамида. Наибольшее содержание аммонийного азота в почве отмечено при внесении карбамида UTEC до посева и в фазе всходов риса и в подкормке в фазе кушения растений обычным карбамидом – на 6,0

мг/кг почвы (16,5 %) больше, чем при внесении карбамида в три приема. К фазе выметывания растений отмеченные различия были уже несущественными. Это обусловлено в значительной степени более интенсивным потреблением азота растениями риса.

В ходе проведения исследований установлено, что внесение карбамида полной дозой до посева (N_{138}) привело к снижению урожайности риса на 16,9 % относительно контроля. В то же время при замене карбамида на карбамид УТЕС достоверного снижения урожайности не выявлено (рис. 5).

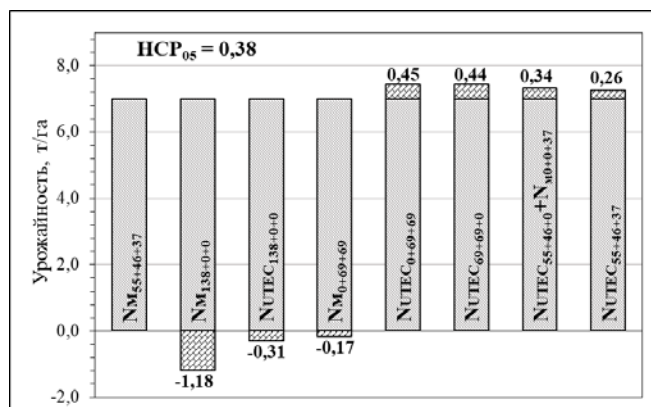


Рис. 5. Урожайность зерна риса при внесении карбамида и карбамида, модифицированного ингибитором уреазы

При внесении карбамида в два приема (до посева и в фазе всходов) достоверного снижения или увеличения урожайности не установлено. В вариантах с применением карбамида УТЕС в два приема – до посева и в фазе всходов, а также в фазе всходов и кущения отмечено увеличение урожайности риса. Она была одинакова и составила 7,44 и 7,43 т/га соответственно, что на 6,3 и 6,5 % больше, чем в варианте с традиционной схемой применения карбамида. Внесение карбамида УТЕС в три приема, а также в сочетании $N_{УТЕС} + N_{УТЕС} + N_m$ не было более эффективным. При таких схемах внесения полученная урожайность была выше, чем на контроле и составила 7,33 т/га (+4,9 %) в варианте с комбинированным внесением и 7,25 т/га (+3,7 %) в варианте с внесением карбамида УТЕС в три приема.

Выводы. 1. Введение в карбамид ингибитора уреазы NBPT (карбамид УТЕС) сокращает потери аммонийного азота (NH_4^+) с фильтрационными водами на 27,1, 37,0 и 16,2 % и со сбросными водами – на 25,0; 31,8 и 30,3 % соответственно при внесении удобрения из расчета N_{55} , N_{64} и N_{138} . Суммарные потери аммонийного азота сокращаются на 22,8–34,5 %. Сокращение потерь азота из удобрения под воздействием ингибитора уреазы NBPT является следствием консервации в почве азота в амидной и аммонийной формах.

2. Отмечено незначительное снижение суммарных потерь нитратного азота из карбамида УТЕС, обусловленное замедлением трансформации форм азота удобрений: $N-NH_2 \rightarrow N-NH_4 \rightarrow N-NO_3$.

3. Ингибитор уреазы NBPT в составе карбамида УТЕС замедлял трансформацию амидного азота в аммо-

нийную форму и создавал благоприятные условия для сохранения азота в почве, что проявлялось в увеличении содержания в ней аммонийного азота. При внесении карбамида УТЕС до посева риса и в фазе всходы его содержание в почве в фазы всходы и начало кущения растений было ниже, чем при аналогичной схеме применения карбамида на 6,1 и 4,0 %, а в последующие фазы вегетации выше на 4,5 и 5,3 %. При внесении азотного удобрения в три приема содержание аммонийного азота в почве на протяжении всего вегетационного периода растений при использовании карбамида УТЕС было выше, чем карбамида на 4,3–4,9 % и 13,5–16,5 % соответственно в фазе всходы и кущение. После фазы выметывания существенных различий в обеспеченности растений риса азотом не наблюдалось.

4. В зависимости от дозы и схемы внесения карбамида УТЕС урожайность зерна риса возрастала на 3,7–6,5 % по сравнению с традиционной схемой его внесения.

Литература

1. Величко, А. Ю. Инновационные продукты для стабилизации азотных удобрений / А. Ю. Величко // Потенциал современной науки : материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Прага, 27 ноября 2016 года / Научно-издательский центр «Мир науки». – Прага: Vydavatel «Osviceni», 2016. – С. 67–72. – EDN XFECWX.
2. Горелик Л.А. Действие ингибиторов уреазы на гидролиз и эффективность поверхностного внесения мочевины / Л.А. Горелик, Ю.Г. Григичев, Н.И. Паевская // Агрохимия. – 1983. – № 3. – С. 9–15.
3. Кочкина, А. В. Процессы аммонификации и нитрификации в почве / А. В. Кочкина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – № 4. – С. 9–14.
4. Кумейко, Ю. В. Влияние ингибитора нитрификации на эффективность азотного удобрения и сохранение плодородия почвы при возделывании риса / Ю. В. Кумейко, В. Н. Парашенко, Н. М. Кремзин // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 12. – С. 85–87. – EDN VHF CWR.
5. Кудяров, В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В.Н. Кудяров. – М.: Наука, 1989. – 216 с.
6. Сычев, В.Г. Эффективность применения карбамида с ингибитором уреазы на картофеле / В.Г. Сычев, Н.И. Аканова, М.М. Визирская // Овощи России. – 2019. – № 3. – С. 104–108.
7. Шарифуллин, Р.С. Эффективность различных способов применения ингибитора нитрификации совместно с азотным удобрением / Р.С. Шарифуллин, В.Н. Чижиков, В.Н. Парашенко // Научные приоритеты адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства: Материалы Международной научно-практической конференции с элементами школы молодых ученых. г. Краснодар, 03–05 июля 2019 года. – Краснодар: Эдвиз, 2019. – С. 147–151. – EDN BRO TGI.
8. Шеуджен, А. Х. Агроэкологическая эффективность применения карбамида УТЕС на посевах риса / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева, М. А. Перепелин // Эколого-генетические основы селекции и возделывания сельскохозяйственных культур: материалы Международной научно-практической конференции и школы молодых ученых по эколого-генетическим основам растениеводства, Краснодар, 24–27 мая 2022 года. – Краснодар: Эдвиз, 2022. – С. 271–274. – DOI 10.33775/conf-2022-271-274. – EDN RZV LCH.
9. Шеуджен, А. Х. Азот и круговорот его в природе / А. Х. Шеуджен, М. А. Перепелин // Рисоводство. – 2021. – № 4. – С. 86–92. – DOI 10.33775/1684-2464-2021-53-4-86-92. – EDN PIZ QDO.
10. Шеуджен, А.Х. Проблема азота в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, М.А. Перепелин. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2021. – 116 с.
11. Artola, E. Effect of N-(N-butyl) thiophosphoric triamide on urea metabolism and the assimilation of ammonium by *Triticum aestivum* L. / E. Artola, S. Cruchaga, I. Ariz, J. F. Moran, M. Garnica, F. Houdusse, et al. // Plant Growth Regul. – 2011. – № 63. P. 73–9. Режим доступа: [http://refhub.elsevier.com/s2090-1232\(18\)30063-8/h0285](http://refhub.elsevier.com/s2090-1232(18)30063-8/h0285)

**NITROGEN REGIME OF MEADOW-CHERNOZEM SOIL AND PRODUCTIVITY OF RICE AGROCENOSIS
WHEN USING CARBAMIDE MODIFIED WITH A UREASE INHIBITOR**

Sheudzhen A.Kh., Academician of Russian Academy of Science, Dr. of biology, head of chair

Bondareva T.N., Ph.D. in agriculture, associate professor

Khurum Kh.D., Dr. of agricultural sciences, professor

Perepelin M.A., post-graduate (e-mail: maxim.perepelin@yandex.ru)

FGBNU "Federal Scientific Center of Rice"

FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Kalinina 13, Krasnodar, 350044, Russian Federation

The article presents results of studying the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) thiophosphorotriamide) on the nitrogen losses from carbamide and the nitrogen regime of the meadow chernozem soil under rice crops. It has been established that the introduction of the NBPT urease inhibitor (UTEC) into urea reduces the loss of ammonium nitrogen with seepage and waste water by 27.1, 37.0, 16.2% and 25.0, 31.8, 30.3%, respectively, when applying fertilizer at the rate of N_{55} , N_{64} , N_{138} . The total loss of ammonium nitrogen is reduced by 22.8–34.5%. The urease inhibitor NBPT slows down the process of transformation of amide nitrogen into its ammonium form, which leads to a decrease in UTEC urea nitrogen losses. This, in turn, limits the flow of nitrates into waste and seepage waters, which prevents environmental pollution and positively affects the nitrogen status of the soil.

Studies of the nitrogen regime of the soil and the productivity of rice agrocenosis were carried out on the rice irrigation system of "ANTC Rice" LLC (Republic of Adygea, Takhtamukaysky district). Urea and UTEC urea were applied at the rate of N_{138} in one, two and three doses. The management technology was taken as control – the introduction of common urea in three steps. It was experimentally confirmed that the NBPT inhibitor sprayed on urea granules (UTEC) contributed to the fixation of fertilizer nitrogen in the soil, which was manifested in an increase in the content of ammonium nitrogen in the soil. When applying UTEC urea before rice sowing and during the seedling phase, its content in the soil in the seedling and early tillering phases was lower than with a similar scheme for using urea by 6.1 and 4.0%, and in subsequent vegetation phases it was higher by 4.5 and 5.3%. When applying nitrogen fertilizer in three stages, the content of ammonium nitrogen in the soil throughout the growing season with the use of UTEC was higher by 4.3–4.9% and 13.5–16.5%, respectively, in the germination and tillering phases. After the heading phase, there were no significant differences in the nitrogen nutrition of rice plants.

Due to the increase in the supply of rice plants with nitrogen when using UTEC urea, the grain yield, depending on the scheme for applying nitrogen fertilizer, increased by 3.7–6.5% compared to common urea.

Key words: nitrogen, ammonification inhibitor, urea, UTEC urea, rice soils, rice, yield.

УДК 631.42:631.438

DOI: 10.25680/S19948603.2023.130.03

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПЛУТОНИЯ И ЦЕЗИЯ-137 В ПОЧВЕ И РАЗНОТРАВЬЕ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Эдомская¹, С.Н. Лукашенко¹, д.б.н., Г.А. Ступакова², к.б.н., А.А. Шупик¹, С.Г. Шаповалов¹

**¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ),
Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, 249032, Российская Федерация**

**²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)
ул. Прянишникова, д. 31А, Москва, 127434, Российская Федерация**

Статья посвящена оценке уровней содержания плутония и цезия в почве и разнотравье Калужской области. Анализ концентраций ^{137}Cs проводили гамма-спектрометрическим методом, $^{239+240}\text{Pu}$ – методом альфа-спектрометрии с предварительным радиохимическим выделением при полном разложении образцов. Установлено, что для Калужской области наблюдается большой диапазон значений концентраций для цезия – от 2,9 Бк/кг на границе с Московской областью до 2400 Бк/кг в южной части Калужской области. Значительно меньшее расхождение в содержании плутония – от 0,1 до 0,47 Бк/кг. Среднее содержание рассматриваемых радионуклидов в 20 см слое составляет ~95 %, а в поверхностном слое (5 см) ~ 35 %. Коэффициенты накопления плутония разнотравьем Калужской области равны $2,1 \cdot 10^{-2}$ – $4,4 \cdot 10^{-2}$ на все растение.

Ключевые слова: плутоний, цезий, глобальные выпадения, чернобыльские выпадения, концентрация в почвах, концентрация в разнотравье, коэффициент накопления плутония.

Для цитирования: Эдомская М.А., Лукашенко С.Н., Ступакова Г.А., Шупик А.А., Шаповалов С.Г. Оценка содержания плутония и цезия-137 в почве и разнотравье Калужской области// Плодородие. – 2023. – №1. – С. 14-19.
DOI: 10.25680/S19948603.2023.130.03.

Начиная с XX в. искусственные радионуклиды стали постоянными компонентами биосферы. Источниками антропогенной радиоактивности являются атмосферные, наземные и подземные ядерные взрывы, аварии на атомных предприятиях и электростанциях, выбросы радиоактивности в процессе работы этих предприятий и др. Основные источники, изменившие уровень радиационного фона Земли – глобальные выпадения долго-

живущих продуктов вследствие ядерных испытаний.

Выпадение радиоактивных продуктов ядерного взрыва начинается вскоре после взрыва. В непосредственной близости от эпицентра выпадают довольно крупные частицы. Часть продуктов ядерного взрыва находится в мелких частицах (5 мк и менее), которые оказываются в верхних слоях тропосферы, где воздушные массы переносят их на многие тысячи километров