

**ТРАНСФОРМАЦИЯ КАРБАМИДА ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ
В ПОЧВЕ И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ В ПОСЕВАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

М.А.Волкова^{1,2}, В.М. Лапушкин^{1,2}, к.б.н.

**¹ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Россия, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49
e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru,**

**²ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»
Россия, 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а
e-mail: marina.volkova.2012@mail.ru**

**Работа выполнена за счет средств Программы развития университета
в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»**

Представлены результаты полевых опытов по изучению эффективности различных вариаций карбамида с замедленным высвобождением азота в посевах яровой пшеницы, а также лабораторных опытов по оценке динамики превращения амидного азота удобрений в почве. В полевых исследованиях установлено, что все медленнодействующие модификации карбамида способствовали оптимизации азотного питания растений пшеницы в наиболее требовательные фазы развития, что благоприятно отразилось на ее урожайности. Применение капсулированного карбамида способствовало получению прибавки урожая на уровне 13%, применение ингибитора нитрификации увеличивало урожайность на 11%, а ингибитора уреазной активности – на 8% относительно обычной мочевины. Компостирование почвы с различными формами карбамида показало, что покрытие гранул карбамида дигидроортофосфатом кальция существенно замедляет процесс аммонификации в течение первых 3 суток, уменьшая содержание аммония в почве на 22-41% по сравнению с обычной формой удобрения. Снижение интенсивности процесса нитрификации отмечалось в период с 21 до 35 суток, при этом накопление нитратного азота в почве снижалось на 11-22%.

Ключевые слова: карбамид, карбамид пролонгированного действия, дигидроортофосфат кальция, яровая пшеница, урожайность, аммонификация, нитрификация.

Для цитирования: Волкова М.А., Лапушкин В.М. Трансформация карбамида пролонгированного действия в почве и его эффективность в посевах яровой пшеницы// Плодородие. – 2024. – №5. – С. 32-38. DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.07.

Проблема азота в мировом земледелии является ключевой не только из-за его высокой биогенности и исключительной роли в питании растений, но и в силу негативного влияния на окружающую среду его отдельных соединений, образующихся при трансформации азотных удобрений в почве [1, 2].

Известно, что вследствие улетучивания аммиака, процессов иммобилизации, нитрификации и денитрификации совокупные потери азота удобрений составляют в среднем 50%, что не эффективно с экономической точки зрения и не безопасно с экологической. Азот в нитратной форме может попадать в поверхностные водоемы и приводить к их эвтрофикации. Закись азота, образующаяся при денитрификации, является опасным и активным парниковым газом, который разрушает озоновый слой стратосферы [3-6]. По этим причинам вопрос о повышении эффективности и рациональном применении азотных удобрений является особенно актуальным.

На мировом рынке одним из самых распространенных и высококонцентрированных азотных удобрений является карбамид. Однако, несмотря на его преимущества по содержанию азота и некоторым физическим свойствам перед другими видами азотных удобрений, карбамид имеет существенный недостаток – крайне быстрое гидролитическое разложение почвенными

микроорганизмами с выделением аммиака и диоксида углерода [2, 7, 8].

Более полувека назад ученые разных стран начали заниматься разработкой новых форм карбамида, устойчивых к воздействию уреазных бактерий и с замедленным высвобождением азота [4, 9].

К настоящему времени насчитывается большое количество различных модификаций карбамида с постепенным высвобождением азота. Среди них наиболее эффективными и перспективными являются медленнодействующие формы с добавлением химических веществ, подавляющих деятельность аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий. Также на рынке удобрений представлен широкий ассортимент так называемых удобрений контролируемого действия. К ним относятся капсулированные формы карбамида, в качестве покрытия которых используются различные органические и неорганические соединения [8, 9-12].

Несмотря на достаточно высокую эффективность перечисленных выше форм карбамида, цена данных продуктов остается высокой, а объемы производства низкими по ряду технологических, экономических, а иногда и экологических причин [10].

Поэтому сегодня очень важно продолжать работу над новыми формами карбамида, которые были бы

технологичными, экономически выгодными, экологически безопасными и эффективными для сельского хозяйства.

Технологами АО НИУИФ в условиях лаборатории была разработана новая капсулированная форма карбамида с использованием дигидроортофосфата кальция в качестве покрытия гранул (Пат. 2776275 С1). Преимуществами дигидроортофосфата кальция являются его стоимость, доступность и безопасность для окружающей среды. При всех прочих достоинствах он является еще и источником фосфора – важного элемента питания для растений на начальных стадиях их развития. Это делает данную форму азотного удобрения более выгодной по сравнению с зарубежными аналогами с полимерными покрытиями.

Цель исследования – изучить динамику высвобождения азота из различных форм карбамида контролируемого действия и их влияние на урожайность яровой пшеницы.

Методика. Эксперименты с различными вариациями карбамида замедленного действия проводились в 2022-2023 г. в условиях Московской области на яровой пшенице сорта Любава.

Опыт закладывали на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, которая характеризовалась близкой к нейтральной реакцией солевой вытяжки, низким содержанием щелочегидролизующего азота и высоким содержанием подвижных форм калия (на уровне IV группы) и фосфора (на уровне VI группы) (табл. 1).

1. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Гумус, ГОСТ 26213-91	pH _{KCl} , ГОСТ 26483-85	Hg, ГОСТ 26212-2021	S, ГОСТ 27821-88	ЕКО	V	N _{св} по Корн- филду	P ₂ O ₅	K ₂ O
%	ед.	мг-экв/100 г			%	мг/кг		
2,50	5,8	1,67	13,9	15,5	89	85	258	132

Схема опыта включала пять вариантов:

1. P₆₀K₉₀ – фон;
2. Фон + карбамид (Nm) (вариант сравнения);
3. Фон + карбамид с покрытием (Nm с пок.);
4. Фон + карбамид + ингибитор уреазы (Nm + инг. уреазы);
5. Фон + карбамид + ингибитор нитрификации (Nm + инг. нитрификации).

Для научных исследований была выбрана мелкоделяночная модификация полевого опыта. Общая площадь деланки составляла 1,96 м², учетная – 1 м². Повторение вариантов пятикратное, расположение – многорядное ступенчатое. Сеяли пшеницу с помощью семярядковой сеялки из расчета нормы высева семян 5,0 млн/га.

Удобрения вносили вручную. Доза азота в 2022 г. составляла 6 г/м², в 2023 г. была увеличена до 9 г/м². В опыте использовали ингибитор уреазной активности под торговым наименованием Лимус (Limus) и ингибитор нитрификации Вибелсол (Vibelsol). Перед внесением мочевины в почву ее смачивали ингибиторами. Нормы расхода ингибиторов устанавливали исходя из рекомендаций, опубликованных в Регламенте ЕС №2003/2003.

Уход за посевами и уборку урожая осуществляли вручную по достижении восковой спелости зерна.

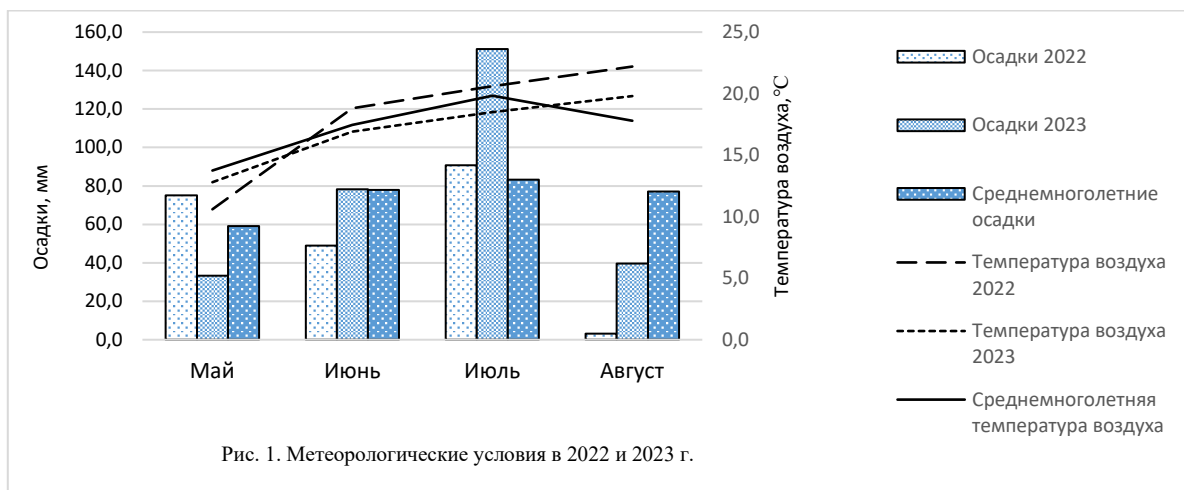
Для статистической обработки экспериментальных данных использовалась программа Microsoft Excel 2021. Химический анализ растительных образцов проводился согласно стандартным методикам после их мокрого озоления по методу Кьельдаля. Для изучения темпов превращения азота исследуемых вариаций карбамида пролонгированного действия на дерново-подзолистой почве был проведен лабораторный опыт в соответствии с рекомендуемыми методическими указаниями [13, 14]. Почву с удобрениями компостировали в течение 35 дней при температуре 20°C, и по ходу опыта в разные сроки проводили отбор образцов, чтобы установить содержание аммонийного и нитратного азота. Содержание в почве катионов аммония определяли по ГОСТ 26489, а нитрат-анионы – спектрофотометрическим методом, разработанным Н.И. Борисовой [15].

Изучение интенсивности денитрификации проводили в условиях лабораторного опыта: в сосуды вместимостью 250 см³ помещали 20 г почвы с внесенной навеской удобрения (~5 мг азота), увлажняли и компостировали в аэробных условиях в термостате при 25°C. Через 14 суток после протекания процессов аммонификации и нитрификации азота, с целью создания оптимальных условий для начала и развития процесса денитрификации, в сосуды добавляли по 3 см³ 2%-ного раствора декстрозы. Сосуды герметично закрывали резиновыми пробками и вводили 5 см³ ацетилена (C₂H₂) для предотвращения редукции N₂O. Концентрацию N₂O определяли методом газовой хроматографии через 2, 5, 7, 14 и 21 день.

По метеорологическим условиям в течение вегетации растений яровой пшеницы 2022 и 2023 г. отличались от среднеевропейских показателей. Согласно средним многолетним наблюдениям, средняя температура воздуха в период с мая по август составляет 17,2°C. В 2022 г. температура воздуха за вегетационный период превышала многолетние показатели в среднем на 0,9°C. Наиболее повышенные температуры отмечались в июле и августе. Сумма осадков за период вегетации была в пределах нормы, а их распределение было равномерным в периоды, когда растения пшеницы наиболее всего нуждаются во влаге. Август был засушливым, что положительно сказалось на созревании зерна пшеницы (рис.1).

Среднемесячные температуры за период вегетации 2023 г. (май-август) были несколько ниже нормы, особенно в мае-июле (меньше на 1,0°C). Что касается осадков, то их суммарное количество за период вегетации было сопоставимо со средними многолетними показателями. Особо обильными осадками отличался июль (151 мм), когда пшеница была в фазе колошения, что привело к слабому полеганию посевов (см. рис. 1).

В конечном итоге, несмотря на небольшие отклонения от нормы, оба года оказались в большей степени подходящими для хорошего произрастания растений яровой пшеницы.



Результаты и их обсуждение. Полевые исследования в течение двух периодов вегетации показали, что используемые формы карбамида замедленного действия обеспечивают оптимальное питание растений яровой пшеницы азотом на протяжении всего периода вегетации, что впоследствии положительно сказывается на продуктивности растений.

В таблице 2 продемонстрированы усредненные данные по интенсивности накопления зеленой массы растений пшеницы и их обеспеченности азотом. Согласно результатам исследования, варианты с модифицированными формами карбамида показывали более интенсивный рост биомассы растений начиная с фазы кущения до фазы колошения-цветения.

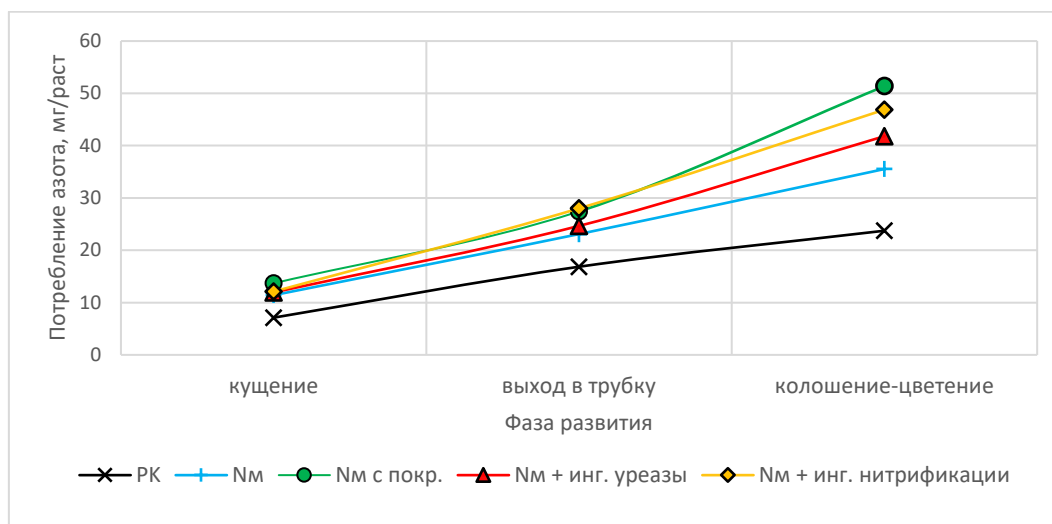
В сравнении с стандартной формой карбамида, капсулированная модификация к фазе кущения способствовала увеличению сухой массы растений на 13%, к фазе трубкования – на 16% и на 34% к фазе колошения-цветения. Применение ингибированного карбамида также способствовало увеличению массы растений на различных этапах вегетации. Так, в сравнении с не модифицированной мочевиной масса растений в фазе кущения была выше на 17-28%, в фазе выхода в трубку – на 19%, в фазе колошения-цветения – на 25-35%. Таким образом, на момент прохождения растениями фазы колошения-цветения наибольшая масса растений отмечалась в вариантах с применением капсулированного и ингибированного карбамида.

2. Динамика накопления биомассы и обеспеченность растений яровой пшеницы сорта Любава азотом (в среднем за 2 года опыта)

Вариант	Кущение	Выход в трубку	Колошение – цветение
<i>Сухая масса, г/раст.</i>			
РК-фон	0,35	1,25	2,29
Фон +Nm	0,47	1,52	2,91
Фон +Nm с покр.	0,53	1,77	3,89
Фон +Nm + инг. уреазы	0,60	1,81	3,95
Фон +Nm + инг. нитр.	0,55	1,81	3,64
<i>Содержание азота, %</i>			
РК – фон	2,04	1,35	0,99
Фон + Nm	2,42	1,51	1,20
Фон + Nm с покр.	2,59	1,56	1,30
Фон + Nm + инг. уреазы	2,06	1,36	1,13
Фон + Nm + инг. нитр.	2,24	1,54	1,34

На графике (рис. 2) изображено, как изменяется интенсивность потребления яровой пшеницей азота от момента появления всходов до начала цветения в зависимости от модификации карбамида пролонгированного действия.

По результатам исследования, капсулированный карбамид и карбамид с ингибитором нитрификации обеспечивали более эффективное усвоение азота растениями, начиная с фазы трубкования, и достигая максимума в период колошения-цветения. В случае использования карбамида совместно с препаратом «Limus», поглощение азота оказалось менее интенсивным по сравнению с другими модификациями длительно действующего карбамида на протяжении всего заданного периода наблюдений.



Количество потребленного азота из обычной мочевины в фазе выхода в трубку было ниже на 9-22%, а в фазе колошения-цветения – на 17-42% по сравнению с модифицированными формами.

Благоприятный режим азотного питания растений яровой пшеницы, достигаемый за счет внесения модифицированных форм карбамида, оказал положительное влияние на формирование урожая (табл. 3, рис. 3).

Все изучаемые формы карбамида обеспечили получение достоверных прибавок урожая относительно фоновых вариантов, которые в среднем за два года опытов варьировались от 35-52% (см. табл. 3).

Стоит отметить, что в 2022 г. вариации ингибированного карбамида не дали существенной прибавки урожая зерна пшеницы относительно стандартной мочевины. При этом наблюдалась выраженная тенденция к увеличению урожая при применении карбамида с покрытием дигидроортофосфатом кальция.

В 2023 г. достоверные прибавки относительно классической формы мочевины обеспечили все модификации карбамида пролонгированного действия (см. табл. 3). В среднем за два года, урожайность в вариантах с применением медленнодействующих форм карбамида составляла 450-458 г/м², при величине урожая в варианте сравнения (Nm) – 404 г/м² см. (рис. 3).

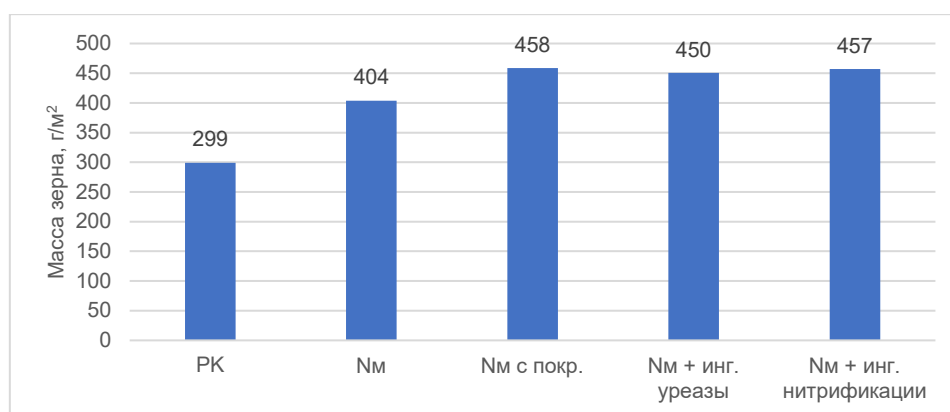


Рис. 3. Величина урожая яровой пшеницы в зависимости от применяемой формы карбамида (в среднем за 2 года опыта)

Оценка интенсивности превращения амидного азота различных форм карбамида в модельном лабораторном опыте на дерново-подзолистой почве показала, что как капсулированная модификация, так и формы с добавлением ингибиторов эффективно замедляют аммонификацию и нитрификацию (рис. 4, 5).

Покрытие карбамида оболочкой на основе дигидроортофосфата кальция заметно замедляло процесс аммонификации в течение первых трех суток. В случае использования капсулированного карбамида содержание ионов аммония на вторые и третьи сутки компостирования составило 14 и 42% от внесенного количества, тогда как при использовании обычного карбамида содержание аммония составляло: на вторые сутки – 55%, на третьи – 64%. Схожая тенденция наблюдалась при использовании ингибитора нитрификации. Содержание аммонийного азота на вторые и третьи сутки составило 26 и 43%. К пятым и седьмым суткам компостирования

Капсулирование карбамида дигидроортофосфатом кальция способствовало увеличению урожайности пшеницы в среднем на 13%, применение ингибитора нитрификации – на 11%, тогда как ингибитор уреазной активности обеспечил прибавку лишь на 8% относительно обычной мочевины.

3. Прибавка урожая яровой пшеницы в зависимости от применяемой формы карбамида

Годы	Вариант	Прибавка от внесенного азота		Прибавка от покрытия/ингибитора	
		г/м ²	%	г/м ²	%
2022	Фон + Nm	74	33		
	Фон + Nm с покр.	101	45	27	9
	Фон + Nm + инг. уреазы	59	27	-15	-5
	Фон + Nm + инг. нитр.	89	40	15	5
	НСР ₀₅	28			
2023	Фон + Nm	135	36		
	Фон + Nm с покр.	218	58	82	16
	Фон + Nm + инг. уреазы	243	65	108	21
	Фон + Nm + инг. нитр.	226	60	91	18
	НСР ₀₅	66			
Среднее за 2 года	Фон + Nm	105	35		
	Фон + Nm с покр.	159	52	54	13
	Фон + Nm + инг. уреазы	151	46	46	8
	Фон + Nm + инг. нитр.	158	50	53	11

содержание N-NH₄⁺ нивелировалось примерно на один уровень (см. рис.4).

Начиная с экспозиции двух недель, по-видимому, проявлялась активизация процесса нитрификации, и во всех вариантах опыта, за исключением последнего, где карбамид был обработан ингибитором уреазы, наблюдалось уменьшение содержания ионов аммония в почве. Причем в варианте с простым карбамидом снижение концентрации аммония в почве происходило более активно. Варианты с ингибированным и капсулированным карбамидом имели более высокое содержание аммонийного азота в почве в течение всего лабораторного эксперимента.

Ингибитор аммонификации наиболее эффективно замедлял превращение амидного азота мочевины в аммонийный на протяжении первой недели. На пятый-седьмой день экспозиции содержание ионов аммония составило всего 10% от внесенного, а через три недели их концентрация в этом варианте сравнивалась с другими опытными вариантами (см. рис. 4).

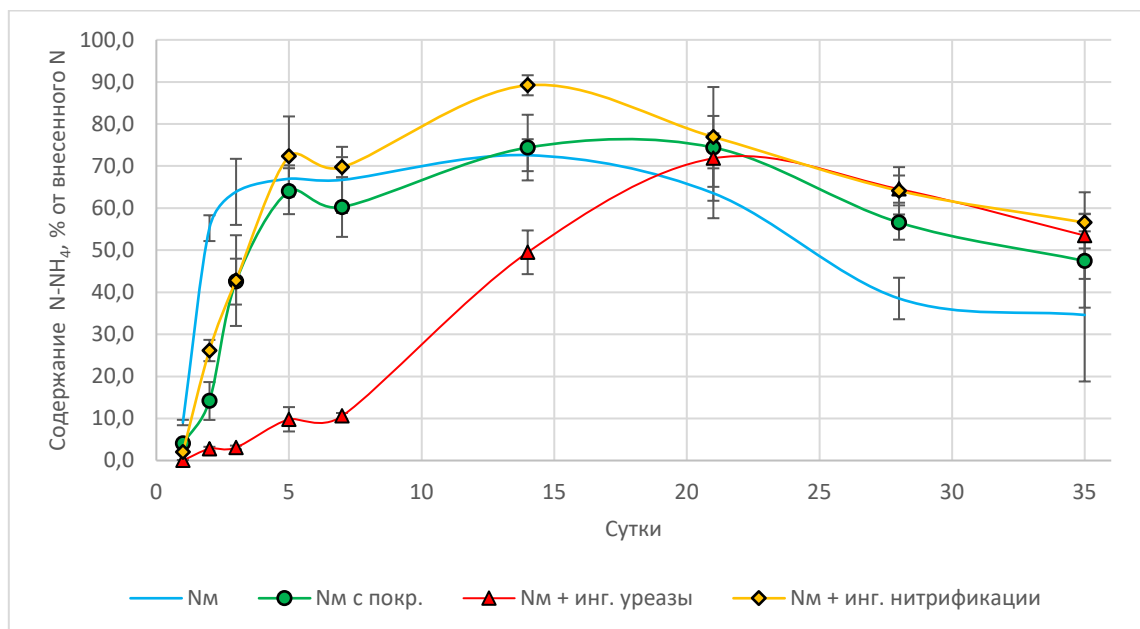


Рис. 4. Интенсивность аммонификации различных форм карбамида

Во всех вариантах, где применялись формы карбамида с замедленным высвобождением азота, наблюдалось снижение активности нитрификации, которая началась примерно после двух недель компостирования и далее продолжалась около трех недель. На 35-е сутки модельного опыта в варианте с обычным карбамидом содержание нитратного азота в почве составляло 52% от внесенного, в варианте с капсулированным карбамидом лишь 31% (рис.5).

Сильнее всего процесс нитрификации сдерживался под действием ингибиторов. Ингибитор аммонификации в течение двух недель успешно замедлял процесс превращения уробактериями амидного азота в аммонийный, что также препятствовало деятельности нитрифицирующих микроорганизмов. Как результат, на 35-й день содержание нитратного азота в почве было всего лишь 17% от внесенного количества. Ингибитор нитрификации успешно сдерживал деятельность бактерий-нитрификаторов на протяжении всего эксперимента (см. рис.5).

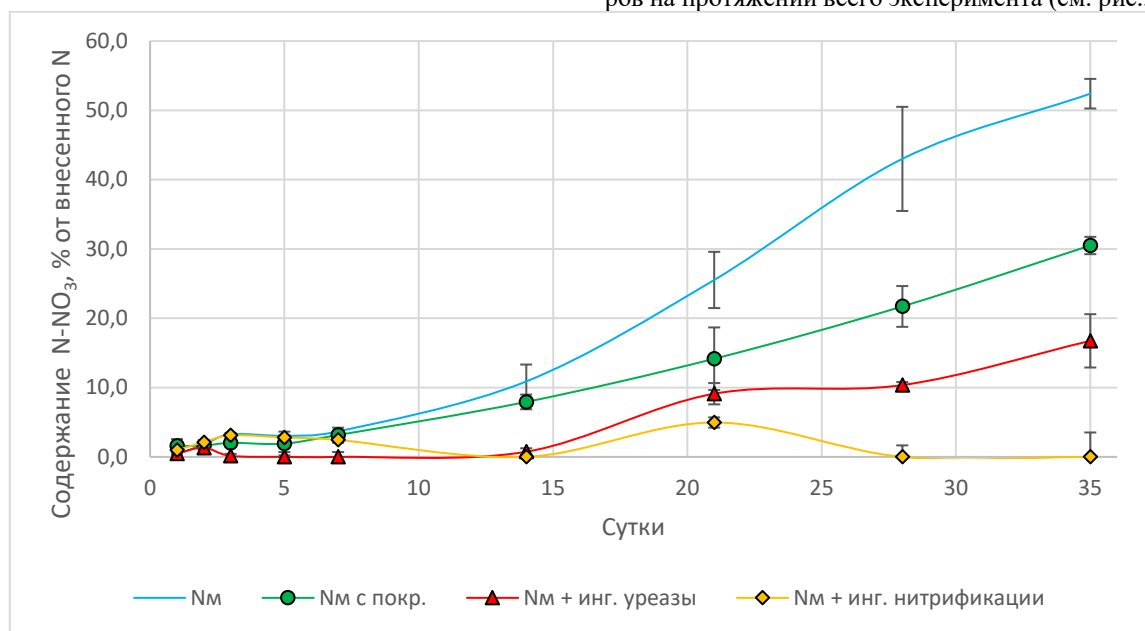


Рис. 5. Интенсивность нитрификации различных форм карбамида

Изучение интенсивности эмиссии N_2O показало, что применение капсулированного и ингибированного карбамида, способствовало снижению газообразных потерь азота карбамида (рис. 6). Однако более интенсивное снижение эмиссии N_2O в этих вариантах наблюдалось лишь спустя 2 нед от начала эксперимента, когда потери азота, в жестких анаэробных условиях, составляли уже более 20% от внесенного количества. В то время как применение ингибитора нитрификации практически полностью блокировало выделение N_2O и потери азота в течение

эксперимента составляли лишь 5-7% относительно внесенного количества азота.

Выводы. По данным, полученным в ходе полевых исследований, можно заключить, что карбамид, как имеющий оболочку из дигидроортофосфата кальция, так и с добавлением ингибиторов равномерно и полноценно снабжал яровую пшеницу азотом в течение всего периода вегетации, особенно во время его наиболее интенсивного потребления, характерного для данной зерновой культуры.

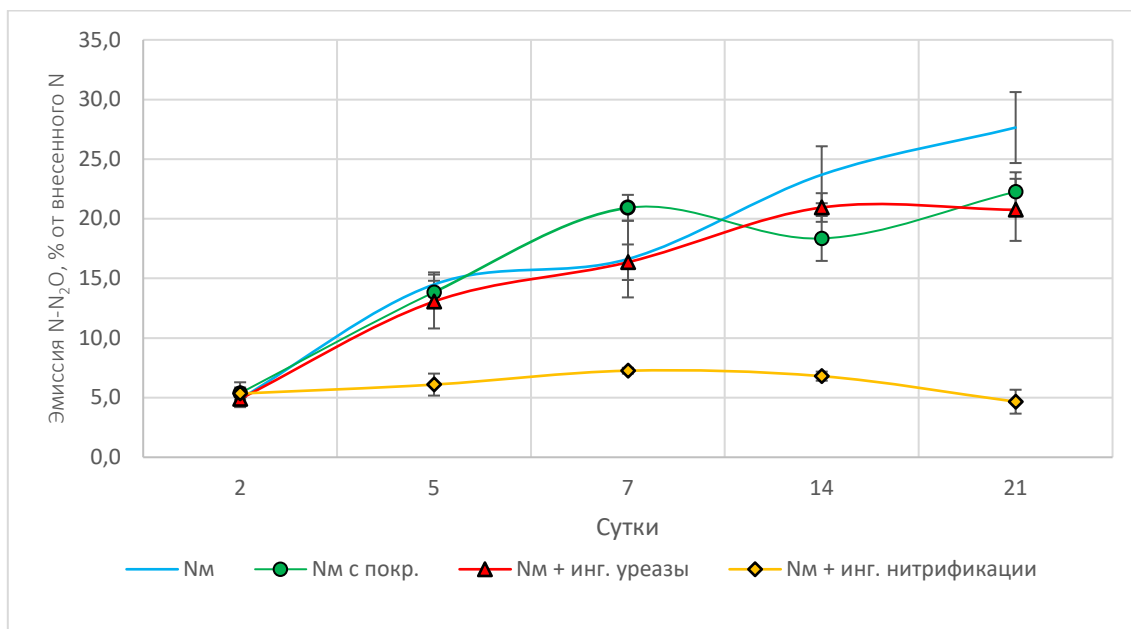


Рис. 6. Интенсивность денитрификации азота различных форм карбамида

Благодаря оптимизации азотного питания пшеницы в фазы наибольшего потребления (кущение, выход в трубку, цветение-колошение), в вариантах с капсулированным дигидроортофосфатом кальция карбамидом и карбамидом с добавлением замедлителя процесса нитрификации (Вибелсол) были достигнуты наилучшие результаты по урожайности пшеницы. В среднем за два вегетационных сезона прибавки урожая в данных вариантах составили 158-159 г/м² относительно фонового варианта и 53-54 г/м² относительно варианта сравнения, где вносился обычный карбамид. Максимальный урожай яровой пшеницы получен в варианте, где применялся карбамид, покрытый оболочкой на основе дигидроортофосфата кальция.

Лабораторные исследования с компостированием различных вариаций карбамида с постепенным высвобождением азота на дерново-подзолистой почве показали, что ингибиторы аммонификации и нитрификации наиболее эффективно сдерживают превращение амидного азота мочевины. Действие ингибитора аммонификации наблюдалось в течение недели, после внесения удобрений. Содержание аммонийного азота в почве на 5-7-е сутки экспозиции было ниже в 6,5 раз в сравнении с вариантом, где вносилась обычная мочевина и составляло лишь 10% от внесенного количества. Ингибитор нитрификации сдерживал превращение аммонийного азота в нитратный на протяжении всех 35 суток наблюдения. Оболочка карбамида на основе дигидроортофосфата кальция также замедляла интенсивность процессов аммонификации и нитрификации. Так, карбамид с покрытием обеспечивал снижение содержания в почве азота в аммонийной форме в течение 3 суток, а нитратного – в течение 35 суток эксперимента.

Литература

1. Кидин В.В. Газообразные потери азота и динамика почвенного дыхания из разных слоев дерново-подзолистой почвы / В.В. Кидин, А.А. Прасолова // *Агрохимический вестник*. – 2014. – №5. – С. 29–31.
2. Козел Е.Г. Сравнительная оценка применения медленнодействующих форм карбамида при выращивании листового салата на

выщелоченных черноземах Тюменской области / Е.Г. Козел // *Агрономия*. – 2020. – № 3(60). С. – 33–39.

3. *Trenkel M.E. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture* / M.E. Trenkel. – 2nd. – Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010. – 163 p.

4. Смирнов П.М. Ингибиторы нитрификации и эффективность азотных удобрений: учебное пособие / П.М. Смирнов, Б.А. Ягодин, Э.А. Муравин и др. – М.: ТСХА, 1987. – 66 с.

5. Кудяров В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В. Н. Кудяров. – М.: Наука, 1989. – 216 с.

6. Прасолова А.А. Изучение газообразных потерь азота и динамика почвенного дыхания в черноземе выщелоченном / А.А. Прасолова // *Агрохимический вестник*. – 2014. – №6. – С. 25–27.

7. Баранова Л.А. Экологически чистое азотное удобрение / Л.А. Баранова // *Агрохимия*. – 2013. – №3(22). – С. 15–18.

8. Пироговская Г. «Умные» удобрения / Г. Пироговская // *Наука и инновации*. – 2020. – №5. – С. 28–32.

9. *Lapushkin V. M. Effect of coated urea and NPK-fertilizers on spring wheat yield and nitrogen use efficiency* / V.M. Lapushkin, A.A. Lapushkina, S.P. Torshin // *Brazilian Journal of Biology*. – 2024. – Vol. 84. – DOI 10.1590/1519-6984.279269. – EDN CIFYZQ.

10. Лапушкин В.М. Использование яровой пшеницей азота капсулированной мочевины / Лапушкин В.М., Волкова М.А., Лапушкина А.А. // *Плодородие*. – 2023. – №6. – С. 15–19.

11. Норов А.М. Пути решения вопросов устойчивого развития и климатической повестки в производствах минеральных удобрений: возможности, технологии, продукты / А.М.Норов, С.В. Иваницhev, Е.В. Козлова, Е.А. Рыбин, Д.С. Медников, М.Н. Цикин, В.В. Соколов, Д.А. Пагалешкин, П.С. Федотов, С.П. Торшин, В.М. Лапушкин, А.А. Лапушкина, Ф.Г. Игалиев // *Узбекский химический журнал*. – 2023. – спец.номер. – С. 171–179.

12. *Производство минеральных удобрений* / А.С. Малявин, С.В. Миносьянц, К.В. Аксенчик, В.М. Лапушкин // *Энциклопедия технологий 2.0: Химический комплекс*. – Москва, Санкт-Петербург: Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», 2022. – С. 11–88. – EDN GOVKBI.

13. Самохвалов С.Г. Методические указания по определению аммонифицирующей способности почв / С.Г. Самохвалов, В.Г. Прижукова, Г.А. Майорец, Т.С. Груздева, Т.А. Яковлева – М.: РАСХН, 1993. – 18 с.

14. Самохвалов С.Г. Методические указания по определению нитрифицирующей способности почв / С.Г. Самохвалов, В.Г. Прижукова, М.Н. Арсеньева, Т.С. Груздева. – М.: ЦИНАО, 1984 – 17 с.

15. Борисова Н.И. Спектрофотометрический метод определения нитратов в почве / Н.И. Борисова // *Агрохимия*. – 1968. – № 8. – С. 148–153.

M.A. Volkova^{1,2}, V.M. Lapushkin^{1,2}¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev agricultural academy, Timiryazevskaya str. 49, Moscow, 127434, Russia, e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru² All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Pryanishnikov str., 31a, Moscow, 127434, Russia, e-mail: marina.volkova.2012@mail.ru

The article presents data from field experiments to study the effectiveness of various forms of urea in spring wheat crops, as well as the results of laboratory experience in assessing the dynamics of conversion of amide nitrogen of various forms of urea in the soil. The use of encapsulated urea contributed to an increase in yield of 13%, the use of a nitrification inhibitor increased the yield by 11%, and a urease activity inhibitor by 8% relative to conventional urea. Composting soil with various forms of urea showed that coating urea granules with calcium dihydrogen orthophosphate has the effect of significantly slowing down the ammonification process during the first 3 days, reducing the ammonium content in the soil by 22-41% compared to the conventional form of fertilizer. A decrease in the intensity of the nitrification process was noted in the period from 21 to 35 days, while the accumulation of nitrate nitrogen in the soil decreased by 11-22%.

Keywords: urea, long-acting urea, dihydroorthophosphate, spring wheat, yield, ammonification, nitrification.

УДК 631.81:631.445.2:631.582

DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.08

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В СЕВООБОРОТЕ НА СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЛУГОВО-БУРОЙ ОТБЕЛЕННОЙ ПОЧВЕ

**Р.В. Тимошинов, к.с.-х.н., Е.Ж. Кушаева, А.А. Дубков, А.Г. Клыков, ак.,
ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки»,
Я.О. Тимофеева, к.б.н., Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты
Восточной Азии ДВО РАН
Российская Федерация, 692539, Приморский край, г. Уссурийск, п. Тимирязевский,
ул. Воложенина 30, тел. (423) 439-27-19; e-mail: o.zemledelia@yandex.ru
Россия, 690022, Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159**

Приведены результаты исследований по изменению агрохимических показателей почвы при разных системах применения удобрений за девять ротаций длительного полевого стационарного опыта, заложенного на лугово-бурой отбеленной тяжелосуглинистой почве. Анализ данных многолетних исследований свидетельствует, что все изучаемые системы удобрения способствуют поддержанию агрохимических параметров на более высоком уровне в сравнении с контрольным вариантом без использования удобрений. Установлено снижение содержания гумуса в почве, наибольшие ежегодные потери его отмечены на контроле, а также в варианте с минеральными удобрениями. Применение в течение 77 лет минеральных удобрений способствовало незначительному увеличению уровня почвенной кислотности – на 0,2 ед. При этом проведение периодического известкования почвы позволяет снизить подкисление реакции среды почвенного раствора, вызванное применением минеральных удобрений. Максимальную эффективность имеет комплексная система, включающая навоз, известь и двойную дозу N₆₀P₉₀K₉₀. В данном варианте выявлено самое высокое содержание подвижных форм фосфора (119 мг/кг) и обменных форм калия (250 мг/кг), что способствовало созданию хорошего уровня плодородия почв КАП (64 балла).

Ключевые слова: системы удобрения, севооборот, плодородие, фосфор, калий, гумус.

Для цитирования: Тимошинов Р.В., Кушаева Е.Ж., Дубков А.А., Клыков А.Г., Тимофеева Я.О. Влияние длительного применения различных систем удобрения в севообороте на содержание элементов питания в лугово-бурой отбеленной почве // Плодородие. – 2024. – № 5. – С. 38-43. DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.08.

Плодородие, или способность почвы удовлетворять потребность растений в питательных веществах и обеспечивать урожай возделываемых сельскохозяйственных культур, является главным свойством почвы. Продуктивность севооборота зависит от уровня плодородия почвы, применения удобрений и климатических факторов [1]. Значение удобрений в сохранении и повышении плодородия почвы подтверждено многочисленными опытами и практикой мирового земледелия [2]. Предотвратить или сдержать снижение уровня плодородия почв можно при проведении комплекса агротехнических приемов, среди которых наиболее важное значение имеют удобрения. При этом полную информацию о влиянии систематического применения удобрений на баланс элементов минерального питания, продуктивность сельскохозяйственных культур, изменение агрохимических

свойств почв и экологическое воздействие на окружающую среду можно получить только в длительных полевых опытах по изучению систем удобрения в севооборотах [3, 4].

Цель исследований – изучить динамику содержания основных элементов питания растений в лугово-бурой отбеленной почве в условиях продолжительного применения различных систем удобрения в севообороте.

Методика. Исследования проведены в ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки на поле № 7 агрохимического стационара, заложенного в 1941 г. на основе девятипольного севооборота: 1 – клевер луговой 1-го года пользования; 2 – соя; 3 – пшеница яровая; 4 – соя; 5 – пшеница яровая с подсевом клевера лугового; 6 – клевер луговой 1-го года пользования; 7 – пшеница