

# Потери аммиака и использование азота растениями из карбамида при поверхностном внесении в зимние месяцы

Р. Энгель, К. Ромеро, К. Джонс и Т. Дженсен

*Полуаридный климат штата Монтана обуславливает большую предрасположенность к потерям аммиака (NH<sub>3</sub>) из карбамида, вносимого поверхностно в зимний период.*

*По сравнению с внесением карбамида поздней осенью или зимой его внесение весной после оттаивания почвы дает максимальные агрономические и экологические преимущества.*

**В**несение карбамида вразброс в течение зимнего периода – распространенный агротехнический прием при выращивании озимой пшеницы в богарных условиях полуаридного штата Монтана. Популярность данного приема основывается на необходимости распределения рабочей нагрузки. Фермеры в данном регионе обычно имеют > 1000 га при использовании систем нулевой или минимальной обработки почвы, что создает значительную нагрузку при проведении сева в течение короткого промежутка времени (то есть < 2 недель в середине сентября).

Общепризнано, что при поверхностном внесении карбамида существует предрасположенность к потере аммиака (NH<sub>3</sub>). Однако у фермеров и поставщиков удобрений имеется устоявшееся мнение о том, что за счет внесения карбамида на холодную почву в течение зимнего периода можно уменьшить или же предотвратить потерю NH<sub>3</sub>. Наши исследования показали, что это отнюдь не так (Engel и др., 2012), и что значительная потеря азота в виде NH<sub>3</sub> (то есть > 20% от внесенного количества) может происходить после внесения карбамида на холодную почву с температурой < 5°C, включая почву, укрытую небольшим снежным покровом. Самый важный результат данных исследований заключается в том, что наиболее неблагоприятная ситуация, исходя из потерь NH<sub>3</sub>, складывалась после внесения карбамида на влажную поверхность почвы – с высоким содержанием влаги и последующем медленном подсыхании при небольшом количестве осадков или их отсутствии. Вероятность создания таких условий в штате Монтана и других соседних территориях северной части Великих равнин выше в течение зимнего периода по сравнению с весной. В течение зимы поверхность почвы обычно находится в промерзшем состоянии, но все же может становится влажной в результате повторяющихся периодов неглубокого оттаивания поверхности. Распределение осадков таково, что зимы, как правило, сухие с выпадением за 4 месяца (1 декабря – 31 марта; MCO-UM, 2015) лишь 14-15% от суммарного годового количества осадков (310-420 мм). Вследствие этого осадки, как правило, имеют низкий объем, и внесенный вразброс карбамид может оставаться вблизи поверхности почвы, где подвергается потерям азота за счет улетучивания NH<sub>3</sub>. Наоборот, весной после оттаивания почвы температуры выше, и поверхность почвы подсыхает быстрее. Весной объем выпадающих осадков обычно больше, и выше вероятность того, что поверхностно внесенный кар-

бамид будет растворяться и инфильтроваться вглубь почвы, где он менее подвержен потерям азота за счет улетучивания NH<sub>3</sub>.

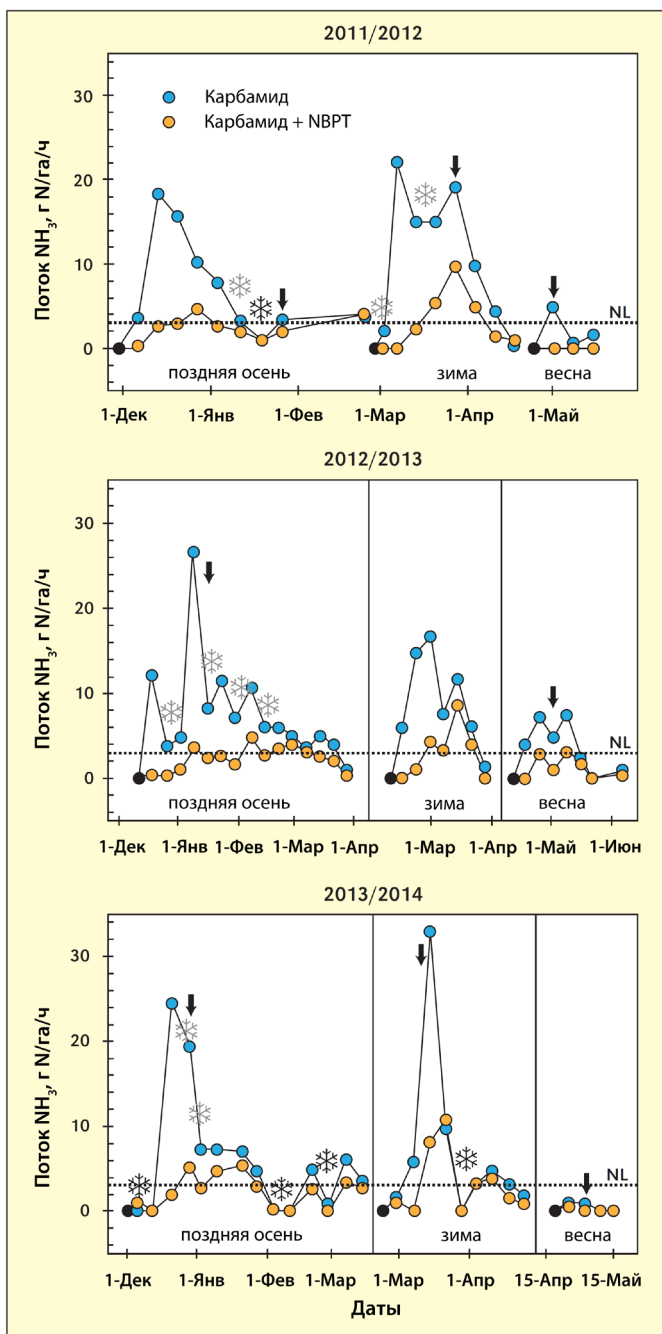
Очевидные различия в подверженности карбамида потерям азота за счет улетучивания NH<sub>3</sub> между зимним и ранневесенним сроками внесения побудили нас к более подробному изучению кумулятивных потерь NH<sub>3</sub> в течение данных периодов. Вместе с тем обработка карбамида ингибитором уреазы (NBPT<sup>1</sup>) – общепризнанный способ снижения потерь NH<sub>3</sub> при поверхностном внесении карбамида (Engel и др., 2011; Grant и др., 1996; Sanz-Cobena и др., 2008; Turner и др., 2010). В связи с этим мы сравнили потери NH<sub>3</sub> из карбамида с данной добавкой и без нее.

Количественное определение выделявшегося NH<sub>3</sub> проводилось микрометеорологическим способом с использованием участка в виде окружности (диаметром 40 м) с центральной стойкой, оборудованной пробоотборниками для улавливания NH<sub>3</sub>. Данные измерения одновременно сопровождались исследованиями, проводимыми на тех же полях, где в микроделеночных опытах с повторностями количественно определялось использование азота озимой пшеницей из карбамида, обогащенного изотопом <sup>15</sup>N. Мы гипотетически предположили, что: 1) кумулятивные потери NH<sub>3</sub> будут сильнее при внесении карбамида поздней осенью – зимой, то есть в зимний период, по сравнению с весной; 2) добавление NBPT снизит потерю NH<sub>3</sub> при внесении карбамида; 3) кумулятивные потери NH<sub>3</sub> будут в конечном итоге оказывать влияние на использование азота озимой пшеницей из карбамида.

## Полевые опыты

Полевые опыты проводились в частных фермерских хозяйствах в центральной части штата Монтана в течение сезонов 2011/12, 2012/13 и 2013/14 гг. Опыты размещались на больших полях (> 60 га) с применением нулевой обработки почвы в зернопаровом севообороте с доминированием озимой пшеницы. Микрометеорологические эксперименты и мелкоделеночные опыты с повторностями по внесению карбамида, меченого <sup>15</sup>N, проводились одновременно, но на пространственно разных участках в границах фермерских полей. Полевые опыты включали вне-

<sup>1</sup> N-(н-бутил)-триамид тиофосфорной кислоты (примечание переводчика).



**Рис. 1.** Эмиссия  $\text{NH}_3$  из карбамида, обработанного и необработанного N-(н-бутил)-триамидом тиофосфорной кислоты (NBPT), после разных сроков внесения (поздняя осень, зима, весна) в 2011/2012, 2012/2013 и 2013/2014 гг. Черными точками показаны даты внесения удобрений (поток  $\text{NH}_3$  предполагается равным 0). Стрелками указано приблизительное время, когда 95% внесенного карбамида (без NBPT) было подвергнуто гидролизу.

NL – номинальный уровень (3 г N/га/ч).

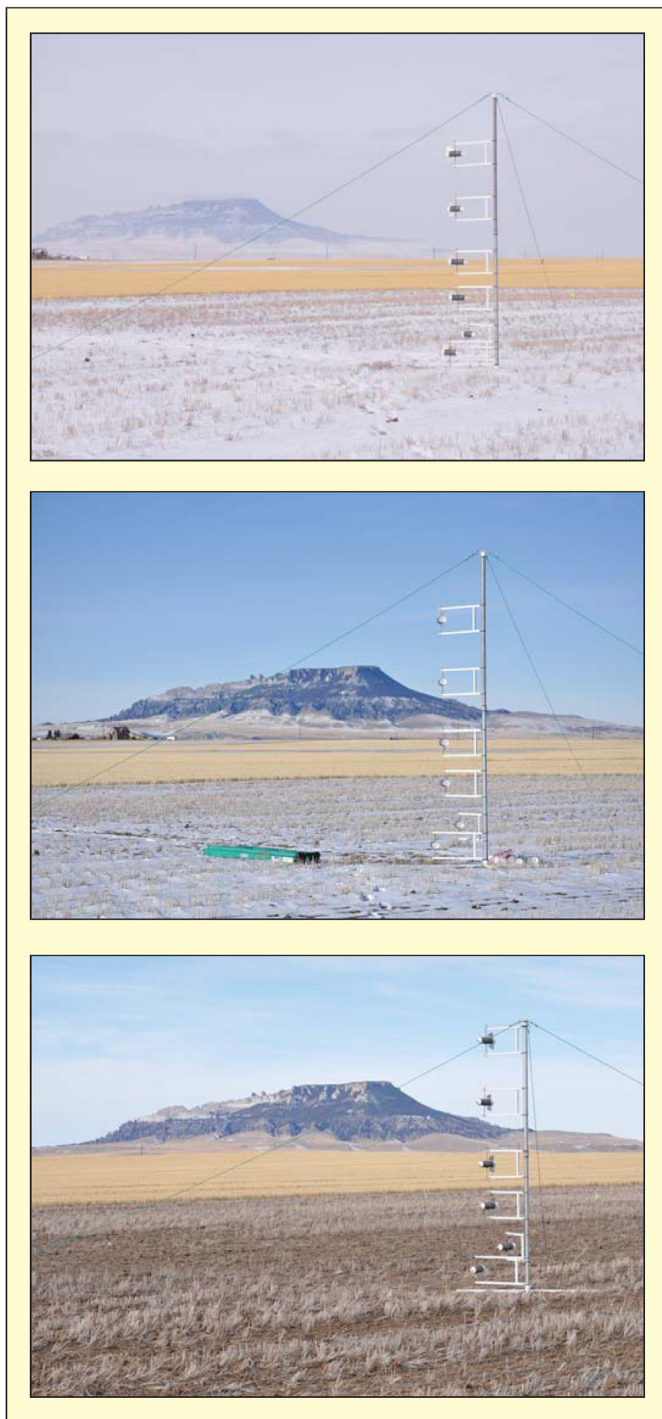
\*, \* – частичный и сплошной снежный покров соответственно.

сение двух форм азотных удобрений (карбамид и карбамид + NBPT) в три срока (поздняя осень и зима и весна). Первый срок внесения (поздняя осень) – в конце ноября – начале декабря примерно при промерзании почвы. Второй срок (зима) – в феврале на промерзшую почву. Третий срок (весна) – в апреле после оттаивания почвы и возобновления вегетации растений. Карбамид и карбамид + NBPT вносились в дозе 100 кг N/га. Карбамид был покрыт NBPT

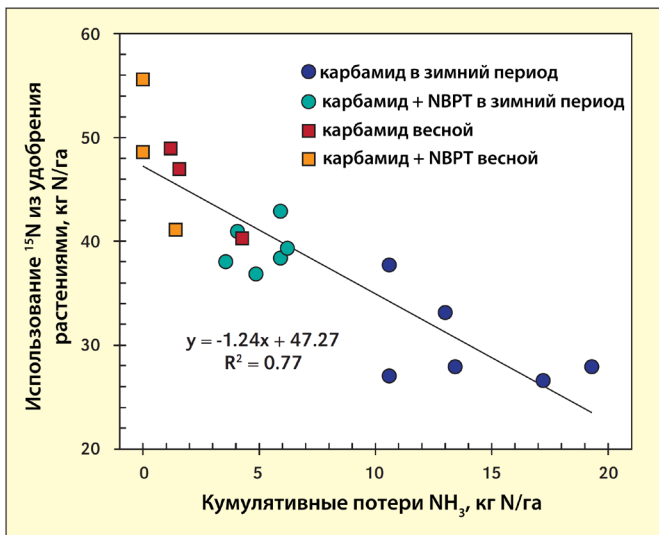
(1 г/кг) – жидким составом, продаваемым под торговой маркой Agrotain Ultra™ (Koch Agronomic Services LLC, г. Уичито, штат Канзас, США).

### Зависимость потока $\text{NH}_3$ от времени

Измерения потока  $\text{NH}_3$  показали, что его потере очень различаются после внесения карбамида в зимний (поздняя осень и зима) и весенний периоды (рис. 1). Во все годы после внесения карбамида поздней осенью и зимой поток  $\text{NH}_3$  возрастал в



**Рис. 2.** Изменения поля, где проводились исследования, во времени. Снежный покров, сформировавшийся 22-го декабря, эффективно блокировал  $\text{NH}_3$ -эмиссионную активность (вверху), но с таянием снежного покрова в течение двухнедельного периода она возобновлялась (см. рис. 1).



**Рис. 3.** Зависимость между величиной использования  $^{15}\text{N}$  из удобрения озимой пшеницей (зерно + солома) и величиной кумулятивных потерь  $\text{NH}_3$  при применении разных стратегий, включая внесение карбамида и карбамида + NBPT (100 кг N/га) в зимний период (поздняя осень, зима) и весной после оттаивания почвы. Приведены средние значения за 3 года (2011/12, 2012/13, 2013/14) для центральной части штата Монтана.

течение 14-58 дней и достигал более высоких пиковых значений, чем при весеннем сроке внесения. В дальнейшем  $\text{NH}_3$ -эмиссионная активность сохранялась и не снижалась до номинального уровня ( $\leq 3$  г N/га/ч) до 87-103 и 49-62 дня после внесения карбамида соответственно поздней осенью и зимой. Продолжительная  $\text{NH}_3$ -эмиссионная активность была отчасти результатом низких температур и засушливых условий, которые снижали или лимитировали активность уреазы. К тому же почва, как правило, промерзала вглубь от поверхности, что не позволяло карбамиду при выпадении осадков и таянии снега проникать за счет инфильтрации на такую глубину, откуда не происходит улетучивание  $\text{NH}_3$  в атмосферу. После внесения карбамида поздней осенью и зимой кривая  $\text{NH}_3$ -эмиссионной активности иногда имела «пилообразный» вид (вверх-вниз) с сильной амплитудой колебаний в результате периодически формирующегося снежного покрова и циклов увлажнения и подсыхания почвы (рис. 2). Например, в опыте с позднеосенним внесением карбамида в 2012/13 гг. ослабление потока  $\text{NH}_3$  при вто-

ром (26 декабря) – третьем (2 января) сроках отбора проб было результатом двух небольших снегопадов (5 и 2.5 см снега) на 10-й (22 декабря) и 21-й день (2 января) после внесения удобрений. Эти снегопады эффективно блокировали высвобождение  $\text{NH}_3$  в атмосферу.

В дальнейшем накопленный снег таял, и эмиссионный поток  $\text{NH}_3$  возобновлялся, о чем свидетельствует пик, наблюдавшийся 9-го января (рис. 2). Во все годы после внесения карбамида весной поток  $\text{NH}_3$  был ниже по интенсивности и короче по продолжительности, чем после внесения поздней осенью и зимой. Весеннее внесение проводилось после оттаивания почвы, и выпадающие осадки способствовали инфильтрации карбамида на большую глубину. К тому же в течение весеннего периода осадки были более обильными по сравнению с зимним периодом. Например, осадки, выпадавшие весной, часто превышали 12 мм, в то время как поздней осенью и зимой они обычно были в виде снега с выпадением менее 6 мм (водный эквивалент).

Зависимости потока  $\text{NH}_3$  от времени для карбамида + NBPT свидетельствуют о том, что ингибитор уреазы был эффективен в снижении эмиссии  $\text{NH}_3$ , а также ее пиковых значений при трех сроках внесения удобрения. Данное ослабляющее влияние наиболее четко заметно на кривых, полученных при внесении удобрения поздней осенью и зимой. В начале – в течение первой недели от растворения гранул удобрения за счет использования NBPT поток  $\text{NH}_3$  был снижен на 90-95%. В последствии эффект от NBPT ослаблялся, и кривые зависимости потока  $\text{NH}_3$  от времени для карбамида и карбамида + NBPT сходились на 50-75 и 28-48 день после внесения удобрений соответственно поздней осенью и зимой (рис. 1).

### Кумулятивные потери $\text{NH}_3$ и использование азота из удобрений растениями

Обобщение результатов нашего исследования за три года показало, что кумулятивные потери  $\text{NH}_3$  (% от внесенного N) значительно зависели от срока внесения удобрений и от взаимодействия таких факторов, как срок внесения и использование NBPT (табл. 1). О взаимодействии вышеуказанных факторов свидетельствует тот факт, что уменьшение кумулятивных потерь  $\text{NH}_3$  за счет использования NBPT было более сильным при внесении карбамида в зимний период (поздняя осень и зима) по сравнению с весенним. Проведенные множественные сравнения показали, что максимальные кумулятивные потери  $\text{NH}_3$  наблюдались при применении карбамида поздней осенью, а при внесении зимой они располагались на втором месте. При применении карбамида + NBPT поздней осенью и зимой кумулятивные потери  $\text{NH}_3$  достоверно не различались. Добавление NBPT снижало кумулятивные потери  $\text{NH}_3$  из карбамида на 63.4, 63.2 и 70.0% при внесении удобрения соответственно поздней осенью, зимой и весной.

Величина использования  $^{15}\text{N}$  из карбамида озимой пшеницей (зерно + солома) в фазу полной спелости обратно коррелировала с величиной кумулятивных

**Таблица 1.** Кумулятивные потери  $\text{NH}_3$  (% от внесенного N) при внесении карбамида и карбамида + NBPT поздней осенью, зимой и весной в среднем за три года (2011/12, 2012/13, 2013/14).

Срок внесения	----- Форма азотного удобрения -----	
	Карбамид	Карбамид + NBPT
----- % от внесенного -----		
Поздняя осень	16.4 a*	6.0 c
Зима	11.4 b	4.2 c
Весна	2.0 cd	0.6 d

\* Достоверное взаимодействие «срок внесения x форма азотного удобрения» ( $p = 0.003$ ); одинаковые буквы указывают на статистически недостоверные различия ( $p = 0.05$ ).

потерь  $\text{NH}_3$  с полей, где проводились исследования (рис. 3). Сильная корреляция ( $R^2 = 0.77$ ) свидетельствует о том, что улетучивание  $\text{NH}_3$  – важный механизм потерь азота при поверхностном внесении карбамида в течение зимнего периода в условиях полуаридного климата. Это также подтверждается нашими данными о том, что добавление NBPT к карбамиду повышает использование  $^{15}\text{N}$  пшеницей из удобрения, особенно при его внесении поздней осенью и зимой.

## Выводы

Данное трехлетнее исследование подтвердило нашу гипотезу о том, что внесение карбамида в зимний период (декабрь – март) ведет к большим кумулятивным потерям  $\text{NH}_3$  по сравнению с внесением весной после оттаивания почвы. В условиях полуаридного климата штата Монтана существует несколько факторов окружающей среды, которые, по всей вероятности, способствуют тому, что в течение зимнего периода карбамид подвергается большим потерям азота в виде  $\text{NH}_3$ . После внесения карбамида поздней осенью и зимой обычно выпадали небольшие осадки ( $\leq 6$  мм) и чаще всего в виде слабого снега, из чего следует, что удобрение, по-видимому, продолжительное время оставалось на поверхности почвы или вблизи нее. К тому же промерзшие слои почвы препятствовали нисходящему перемещению воды и растворенного в ней карбамида. После внесения карбамида весной, напротив, часто выпадали более обильные осадки ( $\geq 12$  мм), что снижало  $\text{NH}_3$ -эмиссионную активность. В целом, выпадение малоинтенсивных, необильных осадков поздней осенью и зимой и более обильных осадков весной согласуется с данными многолетних наблюдений за климатом в полуаридных условиях северной части Великих равнин. В заключение необходимо отметить, что практический вывод данного исследования состоит в необходимости избегать внесения карбамида поздней осенью и зимой для обеспечения наиболь-

шего положительного влияния на азотную составляющую почвенного плодородия и минимизации эмиссии  $\text{NH}_3$  в атмосферу. Добавление NBPT (1 г/кг) позволяет снизить кумулятивные потери  $\text{NH}_3$  из карбамида примерно на 2/3 по сравнению с необработанным удобрением. Однако лучшая управленческая стратегия – подождать с внесением карбамида до весны после оттаивания почвы, чтобы при этом была высокая вероятность выпадения обильных осадков, которые за счет инфильтрации обеспечили бы проникновение азота карбамида вглубь почвы, где он предохраняется от улетучивания в атмосферу в виде  $\text{NH}_3$ .

*Упоминание какой бы то ни было торговой марки не обязательно подразумевает какую-либо рекламу.*

*Д-р Энгель (e-mail: rengel@montana.edu) – адъюнкт-профессор Университета штата Монтана, г. Бозмен, штат Монтана (США). Д-р Ромеро – докторант Университета штата Монтана, д-р Джонс – специалист-консультант по плодородию почв Университета штата Монтана, д-р Дженсен – Директор по Северной Америке Международного института питания растений; e-mail: tjensen@ipni.net.*

## Литература

- Engel, R.E., C. Jones, and R. Wallander. 2011. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:2348-2357.
- Engel, R.E., C. Jones, and T. Jensen. 2012. *Better Crops.* 96 (1):9-11.
- Grant, C.A. et al. 1996. *Can. J. Soil Sci.* 76:417-419.
- MCO-UM. *Montana Climate Office, University of Montana. 2015. Climate Atlas of Montana. The Montana Forest and Conservation Experiment Station. (accessed 11 Aug. 2016).*
- Sanz-Cobena, A. et al. 2008. *Agric. Ecosys. Environ.* 126:243-249.
- Turner, D.A. et al. 2010. *Agric. Ecosys. Environ.* 137:261-266.

*Перевод с английского: В.В. Носов.*



МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ  
ИНСТИТУТ

Восточная Европа и Центральная Азия

125466 Российская Федерация, Москва, ул. Ландышева, д.12, вл. 17а

Тел./Факс: 8 (495) 580 64 14

<http://eeca-ru.ipni.net>

<http://www.ipni.net>

[ipni-eeca@ipni.net](mailto:ipni-eeca@ipni.net)

*Выше урожай и качество, сохраняя окружающую среду...  
С помощью науки*