

# Система применения азотных удобрений, направленная на повышение прибыльности и устойчивости возделывания пшеницы

Д. Нэш, П. Риффкин, Р. Харрис, А. Блэкберн, К. Ничолсон и М. Макдональд

*Установлено, что гибкие агротехнологии возделывания пшеницы, включающие припосевное внесение минимальных доз азота, способствуют максимальному использованию потенциала урожайности, улучшают экономическую отдачу и повышают экологическую устойчивость агроценозов пшеницы в юго-восточной части Австралии. Проведен анализ различных комбинаций таких факторов, как исходные запасы минерального азота в почве, а также дозы и сроки внесения азотных удобрений при моделировании выращивания пшеницы в зоне с высоким количеством осадков (район г. Дункелд, штат Виктория).*

**П**отери азота из почвы за счет вымывания, а также поверхностного стока негативно влияют на состояние поверхностных и грунтовых вод. В связи с этим были разработаны такие системы земледелия, которые не только повышают доходность фермеров, но и уменьшают неблагоприятные последствия для окружающей среды. В юго-восточной части Австралии в зонах с высоким количеством осадков (>550 мм в год) пастбища для выпаса овец и крупного рогатого скота переводятся в категорию земель для крупномасштабного возделывания сельскохозяйственных культур. С большой долей вероятности можно утверждать, что подобные изменения в структуре использования земель увеличивают поступление азота в поверхностные воды. Это справедливо как применительно к традиционным системам возделывания сельскохозяйственных культур, так и к системам земледелия с использованием приподнятых гряд. Однако пока еще не разработан действенный способ снижения потерь азота при возделывании сельскохозяйственных культур в зонах с высоким количеством осадков.

В ранее опубликованной статье мы описали модель на основе Байесовской сети доверия, разработанную для оценки потерь азота в растворенной форме при возделывании сельскохозяйственных культур в зонах с высоким количеством осадков (Nash и др., 2010). Сеть сводит воедино субъективную и объективную информацию в виде концептуально обоснованной модели с логической и понятной взаимосвязью между потерями азота и основными элементами агротехнологий. При этом проводится и анализ неопределенностей. В настоящей работе для оценки рисков, связанных с потерями азота при возделывании пшеницы в районе г. Дункелд в юго-восточной части Австралии, мы использовали несколько модифицированную Байесовскую сеть. Урожайность была проанализирована с помощью модели продукционного процесса растений APSIM (Keating и др., 2003). Проведен также и анализ чистой прибыли. Продукционный процесс растений и водный баланс моделировались с использованием климатических данных за период 1889-2008 гг. исходя из одинаковых погодных условий и состояния почвы при посеве в течение 120-ти лет. Полученные результаты

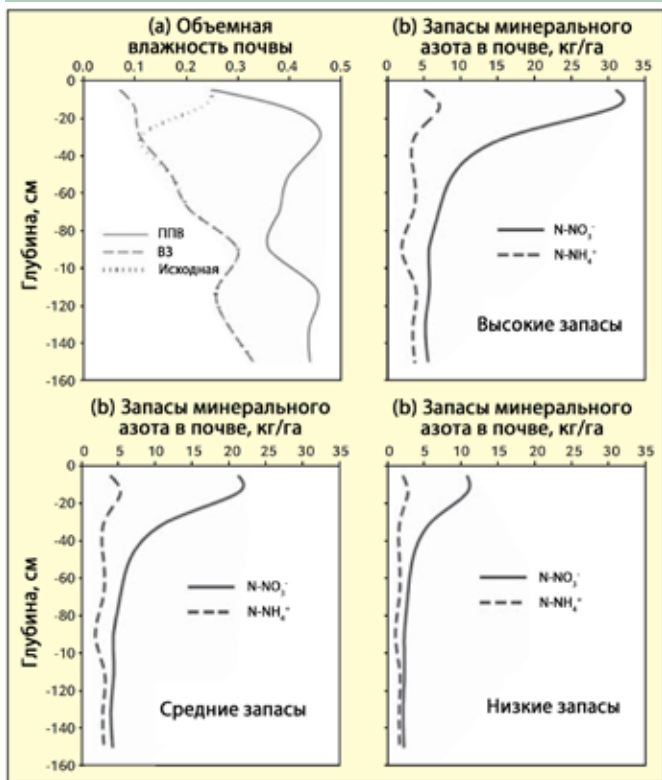
были использованы для: (а) изучения взаимосвязей между экологическими и экономическими показателями, связанными с применением азотных удобрений; (б) разработки рекомендаций по применению азотных удобрений для сортов пшеницы, различающихся по продолжительности вегетационного периода, при разных запасах минерального азота в почве до посева. Изученные сценарии включали различные комбинации основного внесения азотных удобрений при посеве и подкормок в период вегетации (табл. 1).

Влияние различных систем применения азотных удобрений на состояние окружающей среды оценивалось исходя из потерь азота в растворенной форме. «Фактор потерь растворенного N» – это потери азота, взвешенные с учетом вероятности их возникновения с использованием вышеуказанной Байесовской сети. При этом учитывались сортовые особенности, почвенно-климатические условия, а также дозы и сроки внесения азотных удобрений (Nash и др. 2010). «Фактор потерь растворенного N» не является количественной мерой потерь азота. Низкие и высокие значения данного показателя свидетельствуют соответственно о

**Таблица 1.** Системы применения азотных удобрений, использованные для сравнения экологических и экономических показателей возделывания пшеницы в районе г. Дункелд.

Система применения азотных удобрений <sup>a</sup>	Сроки и дозы внесения азотных удобрений			
	При посеве	CP31 <sup>a</sup>	CP39 <sup>a</sup>	Сумма
----- кг N/га -----				
Д0 0N	10	0	0	10
Д0 25N	35	0	0	35
Д0 50N	60	0	0	60
Д0 100N	110	0	0	110
CP31 25N	10	25	0	35
CP31 50N	10	50	0	60
CP31 100N	10	100	0	110
CP39 25N	10	0	25	35
CP39 50N	10	0	50	60
CP39 100N	10	0	100	110
Д0 25N CP31 25N	35	25	0	60
Д0 50N CP31 50N	60	50	0	110
CP31 25N CP39 25N	10	25	25	60
CP31 50N CP39 50N	10	50	50	110

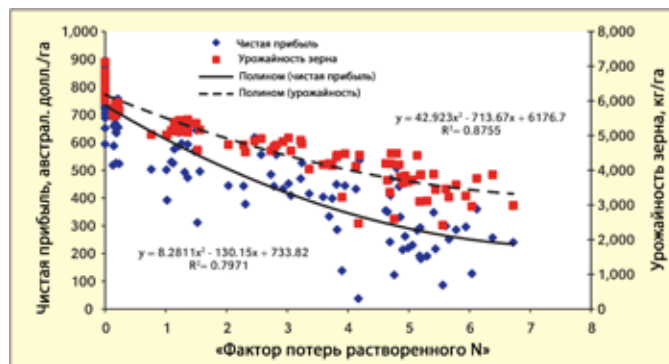
<sup>a</sup>Д0 – посев, CP31 и CP39 – стадии роста 31 и 39 по Цадоксу соответственно (Zadoks и др., 1974).



**Рис. 1.** Исходная влажность почвы (а) и запасы минерального азота в почве (b-d), использованные для моделирования. Рисунки (b), (c) и (d) соответствуют высоким, средним и низким запасам минерального азота соответственно. ППВ – предельная полевая влагоемкость, ВЗ – влажность завядания.

низкой и высокой вероятности потерь азота. Оценку «фактора потерь растворенного N» в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений проводили для низких, средних и высоких запасов минерального азота в почве до посева (рис. 1). В данное исследование были включены три сорта пшеницы: Сильверстар® (скороспелый); Чара® (среднеспелый) и Маккеллар® (позднеспелый).

Маккеллар – сорт краснозерной пшеницы, который, соответственно, используется на фураж, в то время как Сильверстар и Чара потенциально пригодны для мукомольных целей. Из-за разницы цен на фуражное и продовольственное зерно прибыль



**Рис. 2.** Урожайность зерна пшеницы и чистая прибыль в зависимости от степени воздействия системы земледелия на окружающую среду («фактор потерь растворенного N») в юго-восточной части Австралии (район г. Дункелд). Данная оценка проведена для низких исходных запасов минерального азота в почве и внесения 10 кг N/га при посеве.

для указанных сортов различалась. Как показало моделирование, влияние системы применения азотных удобрений на прибыльность возделывания пшеницы, а также на потери азота в растворенной форме было одинаковым для среднеспелого и позднеспелого сортов, однако «фактор потерь растворенного N» был выше для скороспелого сорта Сильверстар.

В целом, при более высоких исходных запасах минерального азота в почве пшеница характеризовалась более высокой урожайностью независимо от применяемых доз азотных удобрений. Чистая прибыль зависела от дозы азота, исходных запасов минерального азота в почве, а также от сорта ( $p = 0.001$ ). Чистая прибыль повышалась с ростом дозы азота, составив 264, 444, 539 и 602 австрал. долл./га при внесении 10, 35, 60 и 110 кг N/га соответственно. На полученной кривой выделялось два участка, которые описывались линейной ( $p = 0.001$ ) и квадратичной функцией ( $p = 0.001$ ). С ростом плодородия почвы – запасов минерального азота «фактор потерь растворенного N» снижался (составив 4.0, 2.0 и 0.4 единиц при низких, средних и высоких запасах минерального азота соответственно). Данный показатель уменьшался и с ростом доз азота (составив 4.4, 3.2, 2.2 и 1.0 при внесении 10, 35, 60 и 110 кг N/га соответственно).

Полученные результаты предполагают, что при

**Таблица 2.** Анализ прибыльности и экологической устойчивости возделывания пшеницы сорта Чара при разных дозах и сроках внесения азотных удобрений, выполненный с использованием модели продукционного процесса растений APSIM и Байесовской сети доверия.

Запасы минерального азота в почве	Суммарная доза азота, кг/га	Чистая прибыль, австрал. долл./га	«Фактор потерь растворенного N», ед.	Уровень устойчивости агроценоза, ед.	Рекомендации
Низкие	110	576	1.1	505	60 кг N/га при посеве и подкормка в CP31 <sup>а</sup> (50 кг N/га). <sup>1</sup>
	50	750	0.2	>3000	2 подкормки (по 25 кг N/га). <sup>2</sup>
Средние	110	780	0.0	>3000	или 2 подкормки (по 50 кг N/га).
Высокие	50	873	0.0	>3000	2 подкормки (по 25 кг N/га). <sup>3</sup>

<sup>а</sup>CP31 – стадия роста 31 по Цадоксу – различается первый узел (Zadoks и др., 1974).

<sup>1</sup>Данные рекомендации отражают снижение объемов внутрипочвенного стока при высокой продуктивности пшеницы (в результате использования воды растениями).

<sup>2</sup>Наиболее подходящая агротехнология.

<sup>3</sup>Наиболее подходящая агротехнология: верхний диапазон чистой прибыли (максимальное значение минус 30 австрал. долл./га) и низкий риск негативного влияния на состояние окружающей среды.

применении возрастающих доз азотных удобрений происходит снижение объемов дренажного стока за счет усиления роста растений и, следовательно, водопотребления. Это оказывает большее влияние на потери азота, чем повышение содержания минерального азота в почве при внесении азотных удобрений. Соответственно, была получена тесная обратная зависимость между чистой прибылью и «фактором потерь растворенного N» (рис. 2). Мы провели количественную оценку уровня устойчивости агроценозов, разделив чистую прибыль на «фактор потерь растворенного N», и выработали ряд рекомендаций и пояснений по используемым агротехнологиям для возможных сценариев возделывания пшеницы (табл. 2).

Результаты данной работы предполагают, что гибкий подход к применению азотных удобрений с целью повышения чистой прибыли способствует также и улучшению показателей устойчивости агроценозов.

Д-р Нэш<sup>1</sup> (e-mail: david.nash@depi.vic.gov.au), Р. Харрис<sup>2</sup> и П. Риффкин<sup>2</sup> – исследователи Департамента базовых отраслей промышленности и окружающей сре-

ды штата Виктория (<sup>1</sup>г. Эллингтон, <sup>2</sup>г. Гамильтон), штат Виктория (Австралия). А. Блэкберн – консультант, «Алан Блэкберн и Партнеры», г. Гилонг, штат Виктория.

К. Ничолсон – консультант, «Никон Рурал Сервисиз» (Nicon Rural Services), г. Квинслиффе, штат Виктория. М. Макдональд – генеральный директор, Южные системы земледелия, г. Инверлейг, штат Виктория.

Данная статья представляет собой сокращенную версию следующей публикации: Nash, D, P. Riffkin, R. Harris, A. Blackburn, C. Nicholson and M. McDonald, 2013. *Europ. J. Agronomy*, 47, 23-32.

## Литература

Keating, B.A. et al. 2003. *European Journal of Agronomy* 18, 267-288.

Nash, D.M. et al. 2010. *Journal of Environmental Quality* 39, 1699-1710.

Zadoks, J.C. et al. 1974. *Weed Research* 14, 415-421.

Перевод с английского и адаптация: В.В. Носов.

# Управление азотным питанием кукурузы при высокой густоте стояния растений в широкорядных и узкорядных посевах

К.Р. Крозиер, Р.Дж. Гехль, Д.Х. Харди и Р.В. Хейнигер

*Полевые опыты по установлению оптимальной ширины междурядий при выращивании кукурузы, проведенные в течение 3-х лет в штате Северная Каролина (США), показали, что урожайность зерна достоверно повышается при узкорядном способе посева и проведении азотных подкормок по сравнению с другими изученными комбинациями между шириной междурядий и сроками внесения азотных удобрений. Относительная урожайность зерна в результате применения азотных удобрений повышалась на 19% за счет улучшения показателей структуры урожая: число рядов зерен в початке увеличивалось на 3%, число зерен в ряду – на 17%, а масса зерновки – на 8%.*

Согласно практическому руководству, опубликованному в 1988 г., густота стояния растений кукурузы должна составлять 50 тыс. растений/га в богарных условиях и 60 тыс./га при орошении (Olson и Sander, 1988). Однако результаты недавно проведенных исследований свидетельствуют о положительных результатах при увеличении густоты стояния растений вплоть до 93.1 тыс./га (Novacek и др., 2013). Чтобы не усиливать конкуренцию между растениями в рядках, посевы можно загустить за счет уменьшения ширины междурядий. При узкорядном способе возделывания кукурузы затруднено проведение технологических операций, включая междурядную подкормку азотом. Цель нашей работы состояла в том, чтобы определить оптимальные дозы и сроки внесения азота при высокой густоте стояния растений кукурузы. Урожайность зерна и структура урожая (число рядов зерен в початке, число зерен в ряду и масса зерновки) изучались при широкорядном (76-102 см) и узкорядном (38-51 см) способах возделывания кукурузы.

Отзывчивость кукурузы на азотные удобрения изучалась в 13-ти полевых опытах, проведенных в следующих частях штата Северная Каролина (США):

Тайдвотер, Прибрежная равнина, Пьемонт и Горный регион. Стартовое ленточное внесение ЖКУ в дозе по азоту 6.7 кг N/га (46.7 л/га ЖКУ состава 11-37-0) служило фоном во всех опытах, за исключением опыта в округе Перкуиманс в 2011 г., где было внесено вразброс 56 кг N/га. Схема опытов включала варианты с внесением возрастающих доз азота (0, 44.8, 89.6, 134.4, 179.2 и 224.0 кг N/га). Как при широкорядном, так и при узкорядном посеве азот вносили двумя способами: при посеве и в междурядную подкормку (между фазами 5-ти и 7-ми листьев). Расстояние между семенами в ряду и ширина междурядий представлены в табл. 1. Оптимальная густота стояния растений по округам штата Северная Каролина зависит от конкретных почвенно-климатических условий. Высокая густота стояния растений, заданная в наших исследованиях, в 1.5 раза превышает ранее сделанные рекомендации для данного штата (Heiniger, 2004).

Полевые опыты были заложены по методу расщепленных делянок: делянки первого порядка – варианты с различной шириной междурядий. Сеялки настраивались таким образом, чтобы получить примерно равную густоту стояния растений как при