



# Питание растений

Вестник Международного института питания растений

Восточная Европа и Центральная Азия

№3, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Значение серы в питании растений.....	2
Сера в почвах и серосодержащие удобрения.....	6
Агрономический эффект от применения нового минерального удобрения, содержащего азот и серу, при возделывании яровой пшеницы.....	10
Улучшение хлебопекарных качеств озимой пшеницы за счет применения азотных и серосодержащих удобрений в условиях влажного климата.....	13
Итоги конкурса научных работ студентов и аспирантов-2014.....	16
Обзор научных публикаций.....	17

## Международный Институт Питания Растений

**Иванова С.Е.**, вице-президент программы по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку  
*e-mail: sivanova@ipni.net*

**Носов В.В.**, директор программы на Юге и Востоке России  
*e-mail: vnosov@ipni.net*

Бесплатная подписка: *ipni-eesa@ipni.net*

125466 Россия, Москва,  
ул. Ландышева, д. 12, вл. 17  
тел./факс: +7 (495) 580 64 14

сайт: <http://www.ipni.net>  
<http://eesa-ru.ipni.net>  
e-mail: *ipni-eesa@ipni.net*

Перепечатка и любое воспроизведение материалов, опубликованных в Вестнике, возможны только с письменного разрешения Международного института питания растений  
© Международный институт питания растений 2014



**У**важаемый Читатель! Данный выпуск «Вестника» мы посвятили вопросам питания растений серой. Это один из важных макроэлементов, и в первой статье подробно обсуждаются биохимические функции серы в растениях. Приводятся также данные по потребности отдельных культур в сере и влиянию серосодержащих удобрений на урожайность и качество продукции. При этом большое внимание уделено оптимизации форм, доз, сроков и способов применения серосодержащих удобрений. В следующей статье рассматривается круговорот серы в агроценозах с подробным обсуждением процессов мобилизации и иммобилизации серы в почве. Дается и краткая характеристика основных форм серосодержащих удобрений. Отдельная статья посвящена эффективности применения нового минерального удобрения, содержащего азот и серу, при выращивании яровой пшеницы. Предварительные исследования свидетельствуют о преимуществах использования данного удобрения по сравнению с аммиачной селитрой, исходя из полученной урожайности зерна и его качества. В заключительной статье также приведены результаты исследований, свидетельствующие о положительном взаимодействии между азотом и серой, что способствует повышению качества зерна озимой пшеницы при ее выращивании в регионе с большим количеством осадков.

Мы включили краткую информацию о победителях Конкурса научных работ аспирантов и студентов «Scholar Award-2014». В этом году в регионе Восточная Европа и Центральная Азия было выбрано три победителя.

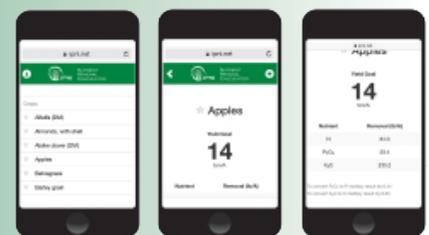
Для Вашего внимания представлены краткие аннотации статей, опубликованных в журнале «Better Crops with Plat Food» во 2-м полугодии 2013 г.

С уважением,  
Владимир Носов  
Региональный директор МИПР по Югу и Востоку России

### Представляем Вашему вниманию «Калькулятор выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами» (Crop Nutrient Removal Calculator) на русском языке

Web-версия:  
<http://ipni.info/calculator>

Версия для iPhone  
<https://itunes.apple.com/us/app/crop-nutrient-removal-calculator/id914110406?mt=8>



125466 Москва ул.Ландышева, д.12, вл.17 а  
<http://www.ipni.net> <http://eesa-ru.ipni.net>

© Международный институт питания растений 2014

# Значение серы в питании растений

Р. Нортон, Р. Миккелсен и Т. Дженсен

Сера – важный элемент питания растений, однако ее содержание в растениях ниже по сравнению с другими макроэлементами. Растения усваивают серу в виде сульфат-иона. В дальнейшем сера восстанавливается и входит в состав незаменимых аминокислот. Сера участвует в ряде важных метаболических процессов в растениях, включая синтез белка. Во многих регионах мира следует уделять большее внимание сбалансированному питанию сельскохозяйственных культур серой.

Сера – важный макроэлемент, необходимый растительным и животным организмам. Она требуется для протекания важных метаболических процессов. В растениях сульфатная сера ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) восстанавливается<sup>1</sup> и входит в состав органических соединений, однако животным организмам для удовлетворения потребности в сере необходимо поступление с пищей серосодержащих аминокислот (метионина и цистеина).

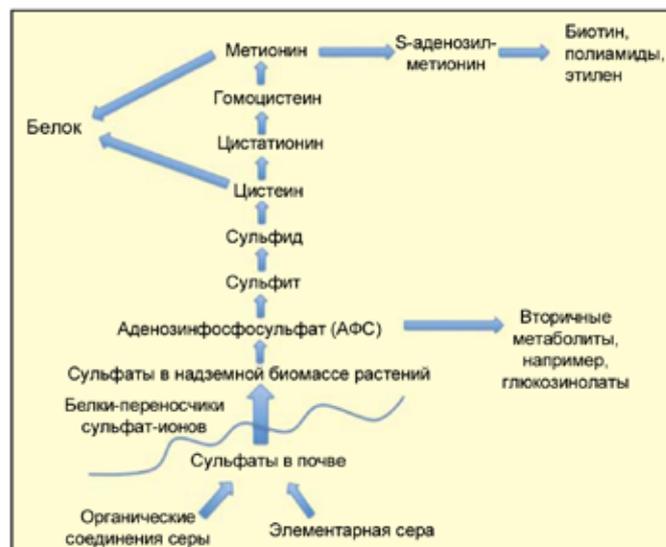
В последние годы потребности сельскохозяйственных культур в сере стало уделяться большее внимание, поскольку во многих системах земледелия снизилось поступление серы в почву по сравнению с предыдущими периодами. Применение серосодержащих удобрений становится актуальным в результате роста урожайности сельскохозяйственных культур, изменения структуры севооборотов, сокращения объемов внесения органических удобрений, а также снижения использования удобрений и пестицидов, содержащих серу.

В почве сера в основном находится в составе органического вещества. Сульфаты легко растворимы в воде и содержатся в почвенном растворе большинства типов почв. Это основной источник серы для растений. Сульфат-ионы активно поглощаются корнями, особенно в зоне корневых волосков, и поступают в растительные клетки с помощью белков-переносчиков сульфат-ионов. Внутри растения сульфат-ионы перемещаются с транспирационным током, а затем аккумулируются в вакуолях растительных клеток либо участвуют в ряде биохимических реакций. Кроме того, листья растений поглощают диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) из атмосферы, но обычно в количествах, не превышающих 1 кг S/га/год. Листья растений могут выделять сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), и, предположительно, это служит механизмом детоксикации при воздействии высоких концентраций  $\text{SO}_2$ .

Большая часть сульфатной серы, поглощенной корнями, восстанавливается и входит в состав цистеина в хлоропластах листьев. Цистеин – первичное соединение, из которого в растениях в дальнейшем образуется большая часть других серосодержащих органических соединений. Вышеуказанный процесс начинается с образования аденозинфосфосульфата, и, в конечном итоге, синтезируются различные серосодержащие органические соединения (рис. 1). Восстановление сульфатов – процесс, требующий значительных затрат энергии. Другие важные серосо-



**Недостаток серы у пшеницы.** На отдельном фото сравниваются листья двух растений – достаточно обеспеченного серой (справа) и испытывающего ее недостаток (слева). (Sharma и Kumar, 2011).



**Рис. 1.** Схематичное представление процесса ассимиляции и восстановления сульфатов в растениях (адаптировано из: Hawkesford, 2012)

держащие аминокислоты – это цистин (соединенные между собой<sup>2</sup> две молекулы цистеина) и метионин (рис. 2). В меньших количествах сера входит в состав таких важных органических соединений, как коэнзим А, биотин, тиамин, глутатион, а также сульфолипиды.

Органические соединения, полученные в процессе превращения сульфатов, транспортируются по флоэме к местам активного синтеза белка (верхушки корней и стеблей, плоды, зерновки) и в дальнейшем становятся, по большей части, малоподвижными в растении. Внешние признаки недостатка серы в первую очередь появляются на молодых тканях

<sup>1</sup> До сульфидных и дисульфидных групп (здесь и далее – примечания переводчика).

<sup>2</sup> Посредством дисульфидной связи.

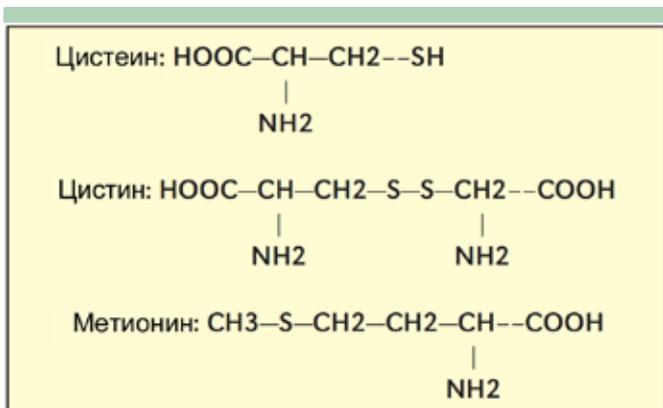


Рис. 2. Три незаменимые аминокислоты, содержащие серу.

Таблица 1. Вынос серы с урожаем основной продукции<sup>1</sup> у ряда сельскохозяйственных культур. Приведены данные при влажности зерна 10%.

Зерновые	S, кг/т	Масличные	S, кг/т
Пшеница	1.4	Рапс	5.0
Ячмень	1.2	Подсолнечник	1.7
Кукуруза	1.1	Хлопчатник	2.9
Рис	0.9	Лен	2.0
Зернобобовые	S, кг/т	Другие культуры	S, кг/т
Соя	3.5	Сахарный тростник (сырая масса)	0.26
Нут	1.8	Люцерна, сено (13% влажность)	2.6
Горох	2.1	Силос из злаковых трав (сырая масса)	2.2
Чечевица	1.4	Хмель (сухая масса)	3.6

<sup>1</sup>Побочная продукция сельскохозяйственных культур может содержать столько же серы или даже больше, чем основная продукция.

Источник: National Land and Water Resources Audit, 2001.

растений – листья и жилки приобретают бледно-зеленую и желтую окраску. Хлороз, наблюдаемый при недостатке серы, напоминает недостаток азота. Однако недостаток азота сначала проявляется на старых листьях, поскольку для азота характерна высокая подвижность в растении. Подкормка серосодержащими удобрениями, проведенная после выявления первых признаков недостатка серы, может не приводить к полному восстановлению роста у ряда сельскохозяйственных культур.

Существует большое количество вторичных серосодержащих соединений, выполняющих важные биохимические функции у отдельных видов растений. Некоторые сельскохозяйственные культуры (например, из рода *Brassica*: рапс, горчица) образуют глюкозинолаты и имеют сравнительно высокую потребность в сере. Растения из рода *Allium* (например, чеснок и лук) продуцируют аллиины, в составе которых может находиться более 80% от общего содержания серы в растении. Характерные для лука и чеснока вкус и запах, обусловленные вышеуказанными летучими серосодержащими соединениями, усиливаются при выращивании растений на почвах с высоким содержанием подвижной серы. С этими и другими серосодержащими соединениями связана устойчивость растений к повреждению вредителями, а также к стрессам, вызванным неблагоприятными внешними факторами.

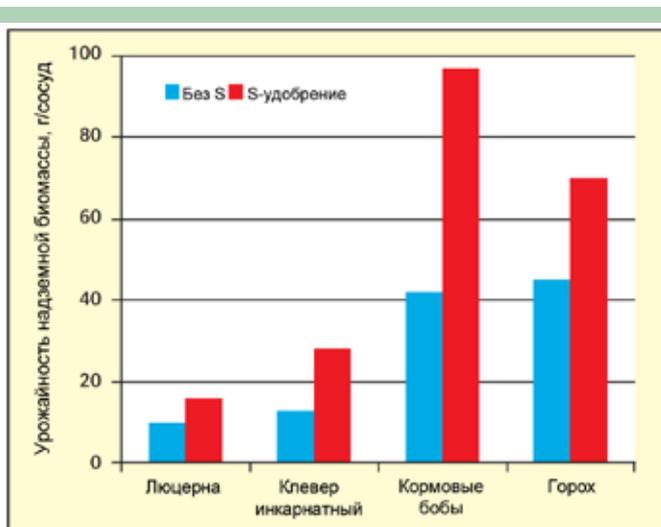


Рис. 3. Повышение урожайности люцерны, клевера инкарнатного, кормовых бобов и гороха при достаточной обеспеченности растений серой (адаптировано из: Lange, 1998).

### Потребность растений в сере

Потребность в сере сильно различается у разных сельскохозяйственных культур. Содержание серы в абсолютно сухом веществе растений обычно составляет от 0.1 до 1.0% (в расчете на элемент). Самая высокая потребность в сере характерна, как правило, для растений из рода *Brassica* (таких, как кочанная капуста, брокколи и рапс), затем следуют бобовые культуры и злаки.

Потребность растений в сере меняется в течение вегетационного периода. Например, максимальная потребность в сере у рапса наблюдается в фазу цветения и семяобразования. Поглощение серы кукурузой протекает с фактически постоянной скоростью в течение всего вегетационного периода. При этом в зерне аккумулируется более 50% накопленной растениями серы. Растения пшеницы между фазами цветения и созревания могут терять<sup>3</sup> до половины накопленной серы. Необходимо определять потребность в сере каждой отдельной сельскохозяйственной культуры (рис. 3).

Вынос серы с урожаем основной продукции, как правило, находится в диапазоне от 10 до 30 кг S/га и зависит от возделываемой культуры, а также от уровня урожайности (табл. 1), однако для некоторых видов растений из рода *Brassica* поглощение серы может достигать 70 кг S/га.

### Качество сельскохозяйственной продукции

При возделывании сельскохозяйственных культур на низко обеспеченных подвижной серой почвах может снижаться урожайность и ухудшаться качество продукции. Обеспеченность растений серой – основной фактор получения качественного растительного белка. У ряда культур от уровня питания серой зависит структура, а также функционирование ферментов и белков в тканях листьев и семенах. Например, форма белковых молекул и функциональные

<sup>3</sup> В результате вымывания из растений.

свойства белка зерновых культур зависят от количеств образующегося цистеина. В связи с этим хлеб, выпеченный из зерна пшеницы с низким содержанием серы, не поднимается, в результате чего получаются плотные буханки неправильной формы.

### Взаимодействие серы с другими элементами питания

Как азот, так и сера играют важную роль в синтезе белка, поэтому между питанием растений азотом и серой существует тесная взаимосвязь. Зачастую одновременный недостаток этих двух элементов питания лимитирует урожайность. Установлено, что в составе белка на 15 частей азота приходится одна часть серы (то есть соотношение N:S = 15:1). Однако данное соотношение характерно не для всех сельскохозяйственных культур. Например, соотношение N:S в зерне пшеницы составляет примерно 16:1, а в семенах рапса – около 6:1.

В целом считается, что такие сельскохозяйственные культуры, как пшеница, сахарная свекла и арахис имеют низкую потребность в сере. Существует множество примеров, показывающих, что для получения запланированного урожая необходимо достаточное питание растений как азотом, так и серой (рис. 4). При недостатке серы у бобовых культур

уменьшается количество клубеньков на корнях растений и, соответственно, снижается интенсивность фиксации атмосферного азота.

При проведении растительной диагностики не стоит полностью полагаться на соотношение N:S в растениях, так как данный показатель может вводить в заблуждение. Например, требуемое соотношение N:S может быть получено и при низком содержании в растениях обоих элементов питания. Кроме того, избыток азота может быть неправильно истолкован, как недостаток серы и наоборот.

Недостаточное питание растений серой не только снижает урожайность и качество продукции, но и уменьшает эффективность использования азота из удобрений растениями. Таким образом, повышается риск потерь азота, что неблагоприятно сказывается на состоянии окружающей среды. Как показали проведенные исследования, применение серосодержащих удобрений на пастбищах, почвы которых недостаточно обеспечены подвижной серой, способствует росту урожайности и повышает эффективность использования азота из удобрений растениями. Потери азота из почвы при этом снижаются. Исходя из тесной взаимосвязи между питанием растений азотом и серой, Шнаг и Ханеклаус (Schnug и Haneklaus, 2005) допустили, что одна единица серы, требуемая для устранения ее недостатка у растений, эквивалента 15-ти единицами потенциальных потерь азота. Согласно проведенным расчетам, недостаток серы в Германии может приводить к ежегодным потерям 300 млн. кг азота (или 10% от общего объема потребляемых в стране азотных удобрений).

Как известно, применение высоких доз серных удобрений вызывает недостаток молибдена у растений. Это происходит из-за антагонизма между сульфат-ионами и молибдат-ионами ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) в процессе поглощения корневой системой растений, так как указанные анионы конкурируют за специфические участки белков-переносчиков, локализованных в клеточных мембранах корня. В тоже время, молибден входит в состав фермента, регулирующего образование органических серосодержащих соединений. По вышеуказанной причине также наблюдается антагонизм между серой и селеном (особенно селенат-ионами –  $\text{SeO}_4^{2-}$ ). Применение серосодержащих удобрений на почвах пастбищ с достаточным содержанием подвижного селена может снижать содержание селена в травах, что негативно сказывается на удовлетворении потребности животных в селене. Показано, что использование сульфатной формы серы – это эффективный способ снижения поглощения растениями элементов-поллютантов на загрязненных почвах. Однако использование элементарной серы может усиливать поглощение тяжелых металлов (Cu, Mn, Zn, Fe и Ni) растениями в результате подкисления ризосферы в процессе окисления серы.

### Система применения серосодержащих удобрений, основанная на Концепции «4-х правил»

Принципы Концепции «4-х правил» применения удобрений (оптимизация форм, доз, сроков и

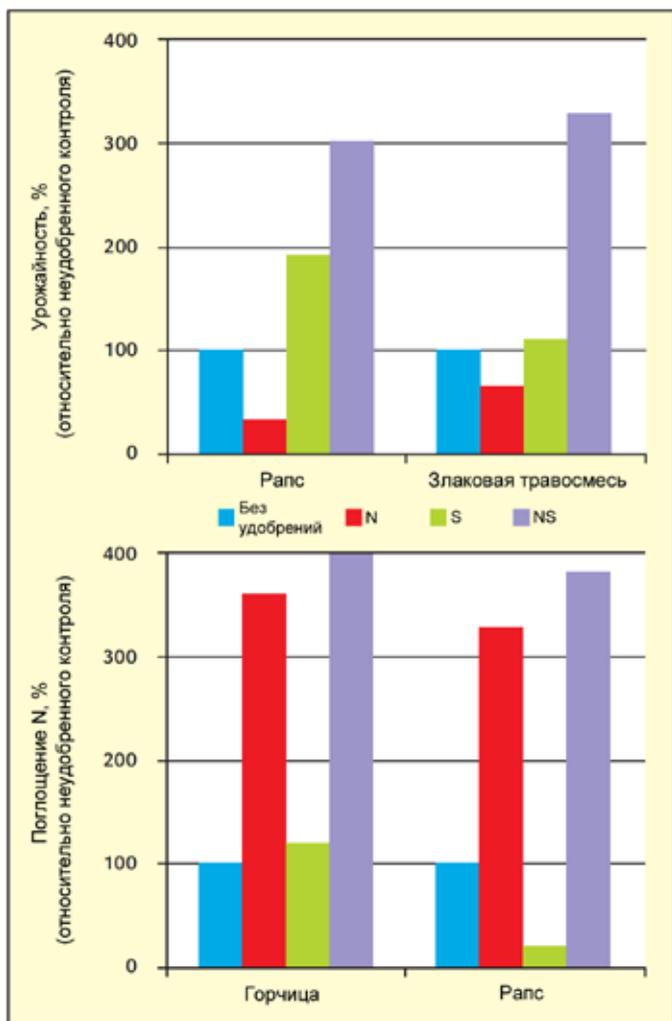


Рис. 4. Влияние совместного и раздельного внесения азотных и серных удобрений на урожайность (вверху) и поглощение азота растениями (внизу) (Aulakh и Malhi, 2004).

способов внесения удобрений) применимы ко всем элементам питания растений. Сера может вноситься в разных формах, включая органические удобрения (навоз), и следование вышеуказанной концепции помогает оптимизировать питание растений серой. Примером использования Концепции «4-х правил» применения удобрений может служить внесение сульфата аммония [формы] обычно в рядки вместе с семенами [способы] при посеве мелкосемянных культур [сроки]. Однако количество удобрения [дозы] должно быть небольшим для снижения риска аммиачного отравления растений, особенно при широкорядном посеве, а также при возделывании растений в засушливых условиях и на песчаных почвах. Ниже более подробно обсуждается использование Концепции «4-х правил» применения удобрений для оптимизации питания растений серой.

**Формы.** Серосодержащие удобрения – это либо водорастворимые сульфатные формы, либо такие формы серы, которые в дальнейшем преобразуются в сульфаты. Необходимо принимать в расчет время, требуемое для преобразования нерастворимой формы серы в доступную для растений сульфатную форму. Для приготовления тукосмесей и ЖКУ, а также для прямого внесения имеется целый ряд хороших твердых и жидких удобрений, содержащих различные формы серы. Комбинирование водорастворимых сульфатных форм и элементарной серы может иметь определенное преимущество, поскольку обеспечивает как быстрое, так и пролонгированное действие серосодержащих удобрений. В данном случае размер частиц элементарной серы – основной фактор, так как меньшие по размеру частицы быстрее окисляются до сульфатов, чем крупные.

**Сроки.** В сульфатных формах удобрений сера находится в легкодоступной растениям форме, и такие удобрения можно применять в период наибольшего потребления серы растениями. Однако элементарную серу следует вносить в почву заблаговременно, чтобы было достаточно времени для окисления серы микроорганизмами. В регионах с низкими зимними температурами элементарная сера вносится в почву за несколько месяцев вперед до посева растений. При повышении температуры почвы процесс образования сульфатов за счет минерализации гумуса и растительных остатков протекает быстрее, и в результате данного процесса в течение вегетационного периода могут высвободиться значительные количества доступной растениям серы. Для питания большинства растений требуется постоянное поступление сульфатов из почвы.

**Способы.** Размещение сульфатных форм удобрений лентой рядом с рядком семян – весьма эффективный способ внесения удобрений под однолетние культуры. Однако следует избегать высокой концентрации сульфат-ионов в непосредственной близости от проростков для того, чтобы не допустить осмотического стресса у корневой системы растений. Сульфаты довольно подвижны в почве и передвигаются с током влаги по корнеобитаемой зоне. Наиболее эффективный способ внесения элементарной серы – взброс под вспашку. На затопляемых

почвах элементарную серу лучше всего оставлять на поверхности почвы для того, чтобы сера окислялась до сульфата в тонком аэробном слое на границе раздела почва – вода.

**Дозы.** Дозы внесения серосодержащих удобрений необходимо устанавливать с учетом потребности сельскохозяйственных культур в сере, физико-химических свойств почвы (гранулометрический состав, содержание гумуса) и климатических условий (температурный режим, количество осадков). Система применения серосодержащих удобрений обычно строится с учетом севооборота. Например, в севообороте рапс – ячмень – пшеница<sup>4</sup> на Западе Канады высокая потребность рапса в сере может быть удовлетворена за счет внесения серосодержащих удобрений под каждую культуру севооборота.

Для получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и надлежащего качества продукции требуется достаточное питание растений серой. При недостатке серы ухудшается синтез белка и снижается эффективность использования азота из удобрений растениями. Кроме того, снижается интенсивность азотфиксации у бобовых культур. Использование Концепции «4-х правил» применения удобрений позволяет оптимизировать питание растений серой.

*Д-р Нортон – Региональный директор МИПР по Австралии и Новой Зеландии, e-mail: rnorton@ipni.net;*

*Д-р Миккелсен – Региональный директор МИПР по Западу Северной Америки, e-mail: rmikkelsen@ipni.net;*

*Д-р Дженсен – Региональный директор МИПР по Северу Великих Равнин; e-mail: tjensen@ipni.net.*

## Литература

- Aulakh, M.S. and S.S. Malhi. 2004. In A.R. Mosier, J.K. Syers, and J.R. Freney (eds.) *Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on Food production and the environment*. pp. 181-191. Scope no. 65. Island Press, Washington, USA.
- Hawkesford M., 2012. In L.J. De Kok et al. (eds.) *Sulfur metabolism in plants: Mechanisms and application to food security, and responses to climate change*. Proc. Int Plant S Workshop, Springer Netherlands, pp.11-24.
- Lange, A. 1998. Cited In S. Haneklaus, E. Bloem, and E. Schnug. 2007. In M.J. Hawkesford (ed.) *Sulfur in Plants: An ecological perspective*. Springer, pp.17-59.
- National Land and Water Resources Audit. 2001. *Commonwealth of Australia, Canberra*. p.290.
- Schnug, E. and S. Haneklaus 2005. In L.J. de Kok and E. Schnug (eds.) *Proc. First Sino-German workshop on aspects of sulfur nutrition of plants*.
- Braunschweig, Federal Agricultural Research Centre (FAL), p.131.
- Sharma, M.J. and P. Kumar. 2011. *IPNI, Norcross, GA, USA and CIMMYT, El Batan, Mexico*. p. 50.

*Перевод с английского и пояснения: В.В. Носов.*

<sup>4</sup> Яровые культуры (припосевное внесение S-удобрений).

# Сера в почвах и серосодержащие удобрения

Р. Миккельсен и Р. Нортон

Постоянное поступление серы (S) в растения очень важно для их нормального роста и развития. Органическое вещество – основной источник серы в почве. Сера, входящая в состав органических соединений, сначала должна быть окислена до сульфатной – водорастворимой формы, и после этого становится доступной растениям. Основная часть серосодержащих удобрений (элементарная сера) получается в процессе очистки разных видов ископаемого топлива. Существует большое количество хороших водорастворимых и медленнодействующих серосодержащих удобрений, которые при оптимальных дозах, сроках и способах внесения способны удовлетворить потребности растений в сере.

Сера – широко распространенный в природе элемент, который имеет важное значение для функционирования как растительных, так и животных организмов. Она аккумулируется в вулканически активных областях, и в мире имеются крупные месторождения элементарной серы. До сравнительно недавнего времени серным сырьем служили вулканическая сера и пирит ( $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ). В 20-м веке Г. Фраш разработал способ добычи серы путем плавления ее подземных залежей, что расширило использование серы в сельском хозяйстве и промышленности.

Углеродородные полезные ископаемые содержат серу, поскольку сера входила в состав органических соединений, из которых сформировались данные ископаемые. Серу извлекают в качестве побочного продукта из таких ископаемых видов топлива, как нефть, газ, битуминозные пески и уголь. Очистка ископаемых видов топлива от серы снижает выбросы серы в атмосферу при их сжигании. В настоящее время

элементарная сера получается при переработке и очистке нефти и газа. Сера поставляется на мировой рынок в твердом или расплавленном виде.

Сера – важный продукт для химической промышленности, особенно в форме серной кислоты. Промышленность по производству фосфорных удобрений – крупнейший потребитель серы. Мировые поставки и цены на серу тесно связаны с рынком фосфорных удобрений.

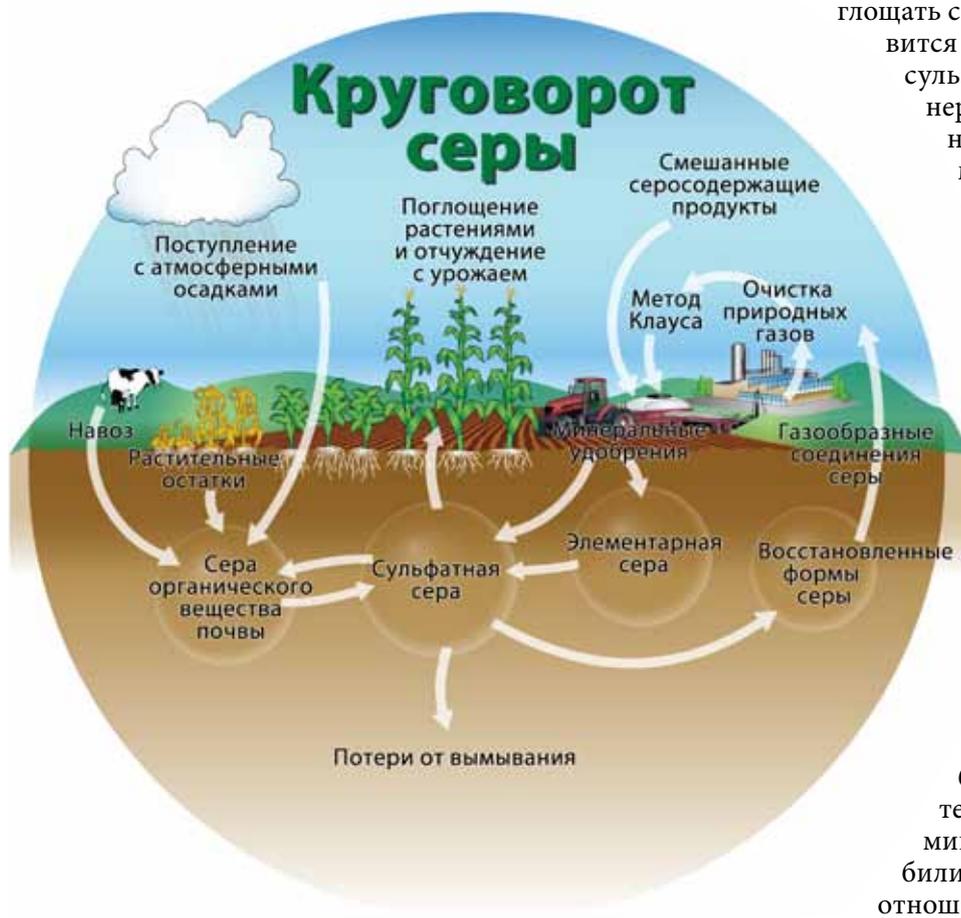
## Сера в почве

### Органические соединения серы

В почве сера в основном находится в составе органических соединений, представленных растительными остатками и гумусом (до 98% от валового содержания серы в почве). Существует целый ряд комплексных органических соединений серы (например, сульфатэфиры и соединения с C-S-связями), однако корни растений не могут поглощать серу в данной форме. Сера становится доступной растениям только в сульфатной форме – в процессе минерализации органических соединений, протекающем с участием микроорганизмов.

В результате деятельности микроорганизмов в почве постоянно протекают процессы трансформации серы – превращения между органическими и неорганическими соединениями серы. Сульфатная форма серы образуется в качестве побочного продукта в процессе минерализации органического вещества почвы, протекающем с участием микроорганизмов. Процесс иммобилизации представляет собой включение сульфатной формы серы в микробную биомассу почвы.

Наиболее простым способом для определения того, протекает ли в почве чистая (нетто) минерализация или чистая иммобилизация серы, служит анализ соотношения углерода к сере. Процесс



высвобождения серы – перехода в сульфатную форму в основном протекает при соотношении C:S в органическом веществе менее, чем 200:1; а иммобилизация серы обычно происходит в тех случаях, когда соотношение C:S превышает 400:1. Определить направленность процессов мобилизации-иммобилизации серы в почве гораздо сложнее, если соотношение C:S находится в диапазоне между вышеуказанными значениями.

Процесс минерализации органического вещества почвы и высвобождения серы чаще всего протекает слишком медленно для того, чтобы удовлетворить потребности высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур в сере. Возникающий недостаток серы должен устраняться за счет внесения органических или минеральных удобрений, содержащих серу.

### **Неорганические соединения серы**

Только небольшая часть от валового содержания серы в почве находится в неорганической форме. Сульфатная сера – наиболее распространенная форма среди неорганических соединений серы в почве. Сульфаты входят в состав почвенного раствора, удерживаются поверхностью минеральных частиц почвы, а также находятся в составе таких минералов, как гипс. В затопляемых и слабодренированных почвах могут образовываться минералы группы сульфидов (например, пирит).

Большинство сульфатов хорошо растворимо в воде и передвигается с током почвенной влаги. Они слабо удерживаются (адсорбируются) глинистыми и другими почвенными минералами, особенно при низких значениях pH почвенного раствора. Адсорбированные почвой сульфаты представляют собой важный резерв серы для питания растений, особенно в нижних горизонтах почвенного профиля (глубже 30 см), имеющих кислую реакцию среды. Специфическая адсорбция сульфат-ионов характерна для некоторых типов почв, особенно имеющих высокое содержание свободных оксидов и гидроксидов железа и алюминия. Неспецифическая адсорбция сульфат-ионов почвой ослабляется при известковании и внесении фосфорных удобрений.

### **Вымывание сульфатов из почвы**

Потери серы из почвы в основном происходят за счет вымывания сульфат-ионов из корнеобитаемой зоны при выпадении большого количества осадков и при орошении. Размеры потерь серы от вымывания зависят от почвенно-климатических условий – ежегодные потери обычно составляют от 5 до 60 кг S/га (4-54 фунтов/акр). По сравнению с незасеянной почвой под хорошо развитыми посевами сельскохозяйственных культур вымывание сульфат-ионов, как правило, идет менее интенсивно. Для снижения потерь азота из почвы, связанных с вымыванием нитратов, обычно выращиваются почвопокровные культуры. Возделывание таких культур также помогает снизить и риск вымывания серы, поскольку она поглощается из почвы растениями и затем возвращается с растительными остатками.

### **Газообразные потери серы из почвы**

В анаэробных условиях сульфаты восстанавливаются

почвенными бактериями до целого ряда соединений, которые по большей части не могут поглощаться растениями. Указанные соединения включают сероуглерод, карбонилсульфид, диметилдисульфид, метилмеркаптан и сероводород – летучий газ. Обычно образуются сульфиды двухвалентного железа – минералы группы пирита.

### **Сера в атмосфере**

Диоксид серы (SO<sub>2</sub>) входит в группу газов, обладающих высокой химической активностью. Они выделяются в атмосферу при сгорании ископаемых видов топлива. Выбросы SO<sub>2</sub> регулируются правительственными постановлениями, поскольку загрязнение атмосферы диоксидом серы приводит к повреждению органов дыхания и вызывает кислотные осадки. Большая часть серы, содержащейся в ископаемых видах топлива (особенно в форме сероводорода), удаляется до их сжигания. Это основной источник получения элементарной серы.

### **Экологические аспекты**

Содержание сульфат-ионов в питьевой воде не регулируется правительственными постановлениями, однако, согласно рекомендациям Агентства по охране окружающей среды США, данный показатель не должен превышать 250 мг/л из-за ухудшения вкуса и запаха питьевой воды при более высоких концентрациях сульфат-ионов. Содержание сероводорода в воде из артезианских скважин в количестве лишь нескольких мг/л ухудшает вкус и запах воды. Концентрация сульфат-ионов в природных поверхностных водах редко служит лимитирующим фактором, ограничивающим развитие водных организмов. В данном случае возможно косвенное влияние<sup>1</sup>.

## **Сера – элемент питания растений**

Отчуждение серы с урожаями сельскохозяйственных культур без соответствующего возмещения за счет внесения удобрений постепенно ведет к истощению почвенных запасов серы. Применение серосодержащих удобрений может не требоваться на почвах с высокими запасами органического вещества, однако отзывчивость сельскохозяйственных культур на систематическое внесение серосодержащих удобрений наблюдается на многих типах почв.

### **Листовая и почвенная диагностика**

Для определения обеспеченности почвы доступной для растений серой разработан целый блок аналитических методов. В ряде регионов мира почвенная диагностика оказалась более успешной, в остальных случаях – менее успешной. Определение степени доступности почвенной серы растениям частично зависит от оценки скорости минерализации органического вещества почвы, поэтому применение методов почвенной диагностики имело разный успех. Отзывчивость растений на применение серосодержащих удобрений чаще всего наблюдается на почвах легкого гранулометрического состава с низким содержанием гумуса. Тем не менее, отзывчи-

<sup>1</sup> В результате восстановления сульфатов до сульфидов





Тиосульфат калия



Кизерит



Гипс



Простой суперфосфат

лоты с фосфатной рудой. При этом получается смесь дигидрофосфата кальция и гипса. Использование данного удобрения снизилось, так как экономически выгоднее транспортировать и вносить в почву более концентрированные формы фосфорных удобрений.

**Сульфат аммония (24% S).** Сульфат аммония  $[(NH_4)_2SO_4]$  – часто используемое удобрение, которое служит источником как азота, так и серы. Это, главным образом, побочный продукт различных промышленных производств, хотя иногда сульфат аммония получают за счет химической реакции между аммиаком и серной кислотой. Сульфат аммония хорошо растворим в воде, и часто используется при производстве жидких комплексных удобрений. Подкисление почвы, наблюдаемое при применении  $(NH_4)_2SO_4$ , происходит, главным образом, в результате процесса нитрификации – окисления аммонийного азота до нитратной формы, а не за счет сульфат-ионов.

**Сульфат калия (17-18% S).** Данное удобрение  $[K_2SO_4]$  используется достаточно часто. Сульфат калия может извлекаться непосредственно из природных рассолов. Также его получают посредством химических реакций с участием различных солей и кислот<sup>2</sup>. Сульфат калия хорошо растворим в воде. Это хороший источник сульфатной серы для растений.

**Калимагнезия (лангбейнит) (20-22% S).** Лангбейнит  $(K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4)$  извлекается из соляных месторождений. Это хорошо растворимое в воде удобрение, которое служит источником сразу трех важнейших элементов питания растений.

**Сульфонитрат аммония (6-14% S).** Данное соединение получается при нейтрализации азотной и серной кислот газообразным аммиаком. Содержание серы может варьировать в зависимости от получаемых в результате данной химической реакции продуктов. Совсем недавно стало выпускаться новое гранулированное удобрение, получаемое из плава нитрата и сульфата аммония (14% S).

**Обогащенные серой удобрения.** Некоторые виды удобрений (например, аммофос и диаммофос) иногда обогащаются смесью тонкодисперсной элементарной серы и сульфатных солей для получения

продуктов, содержащих серу как в доступной для растений форме, так и обладающих пролонгированным действием. Подкисление почвы в зоне контакта с частицами элементарной серы повышает растворимость соединений фосфора и цинка в почве.

**Тиосульфаты (10-26% S).** Тиосульфатные формы удобрений – это прозрачные жидкости, содержащие серу в виде  $S_2O_3^{2-}$ . Их часто смешивают с другими жидкими удобрениями. В достаточно прогретой почве тиосульфат-ион переходит в сульфат-ион в течение одной-двух недель.

**Сульфаты магния (14-22% S).** Сульфаты магния представлены двумя минералами – кизеритом  $(MgSO_4 \cdot H_2O)$  и эпсомитом  $(MgSO_4 \cdot 7H_2O)$ . Эти соединения хорошо растворимы в воде, и содержат серу в доступной для растений сульфатной форме.

**Навоз и компосты.** Содержание серы в навозе и компостах зависит от вида сельскохозяйственных животных, типов кормов, а также способов содержания животных. Содержание серы в навозе и компостах обычно находится в диапазоне от 0.3 до 1.0% в расчете на абсолютно сухое вещество. В процессе минерализации происходит превращение органических серосодержащих соединений в доступную для растений сульфатную форму.

Выбор наиболее подходящей формы серосодержащих удобрений зависит от физико-химических свойств почвы – величины pH, содержания гумуса, а также от размера потерь серы за счет вымывания. Необходимо учитывать и потребность растений в других элементах питания, которые могут входить в состав серосодержащих удобрений. Выбор той или иной формы серосодержащих удобрений также зависит от того, требуется ли в конкретные сроки внесение серы в непосредственно доступной для растений форме или нет.

*Д-р Миккелсен – Региональный директор МИПР по Западу Северной Америки, г. Мерсед, штат Калифорния, США; e-mail: rmikkelsen@ipni.net.*

*Д-р Нортон – Региональный директор МИПР по Австралии и Новой Зеландии, г. Хоршам, Австралия; e-mail: rnorton@ipni.net.*

<sup>2</sup> В основном хлористого калия и серной кислоты, либо хлористого калия и сульфата натрия.

*Перевод с английского и примечания: В.В. Носов.*

# Агрономический эффект от применения нового минерального удобрения, содержащего азот и серу, при возделывании яровой пшеницы

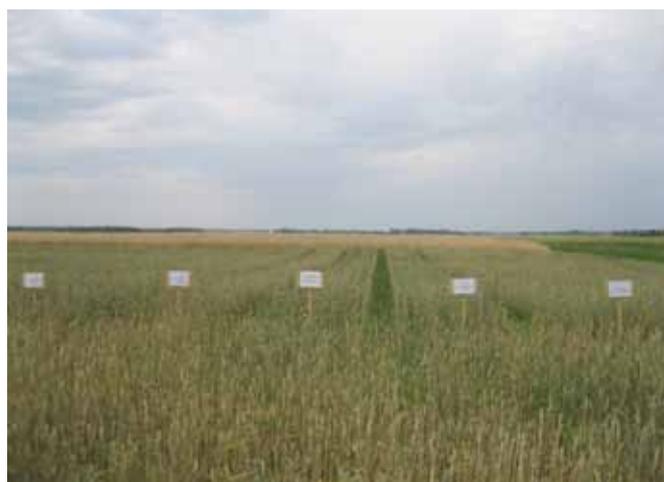
Полтораднев М.С., Гребенникова Т.В. и Хисамутдинов Н.Ш.

*Изучена эффективность применения нового минерального удобрения NS 30:7, содержащего азот и серу, при выращивании яровой пшеницы на серой лесной почве Республики Татарстан. Показано преимущество использования NS 30:7 по сравнению с аммиачной селитрой. Внесение удобрения NS 30:7 в дозе 50 кг N/га (12 кг S/га) на фоне P9.5K40 обеспечило получение максимальной урожайности в опыте, а также лучшего качества зерна.*

Обеспеченность сельскохозяйственных культур элементами питания (азотом, фосфором, калием, серой и т.д.) в сбалансированных количествах – основное условие достижения высокой урожайности. При несбалансированном минеральном питании происходит неэффективное использование удобрений, что ведет к недобору урожая сельскохозяйственных культур и снижению прибыли хозяйств. В этой связи возникает необходимость разработки новых видов удобрений, учитывающих потребности растений в элементах питания.

Как известно, азот регулирует рост вегетативной массы растений и повышает содержание белка в зерне (Авдонин, 1972). Сера входит в состав аминокислот (метионин, цистин и цистеин). Растительные белки включают аминокислоты, содержащие серу. Сера также входит в состав витаминов (биотин, тиамин) и кофермента А, играющего важную роль в окислительных процессах. Следует отметить, что сера активно влияет на образование хлорофилла. Сера способствует усилению роста и поглотительной деятельности корневой системы, а также повышенному усвоению и накоплению растениями основных элементов питания (Вильдфлуш и др., 2001). Как показано отечественными исследованиями, применение серосодержащих удобрений очень актуально в разных почвенно-климатических зонах для повышения урожайности и качества растениеводческой продукции (Аристархов, 2007).

При недостатке серы угнетается рост растений, формируются мелкие колосья, и задерживается созревание (Sharma, Kumar, 2011). Признаки недостатка серы появляются в первую очередь на моло-



Общий вид опытного участка (фаза молочно-восковой спелости).

дых листьях – они становятся бледно-желтыми, но старые листья обычно сохраняют зеленую окраску. Проростки пшеницы, испытывающие недостаток серы, полностью желтеют, и недостаток серы можно спутать с недостатком азота.

Полевой опыт по изучению эффективности применения нового минерального удобрения, содержащего азот и серу, проводился в 2013 г. на Центральном опытном поле Казанского ГАУ (кафедра растениеводства) на серой лесной среднесуглинистой почве Предкамской зоны Республики Татарстан. Исходная агрохимическая характеристика пахотного горизонта: гумус – 3.7%, рН<sub>KCl</sub> – 5.4, сумма поглощенных оснований – 21.4 ммоль (экв)/100 г почвы, гидролитическая кислотность – 3.4 ммоль (экв)/100 г почвы, нитратный азот – 18.2 мг/кг почвы,

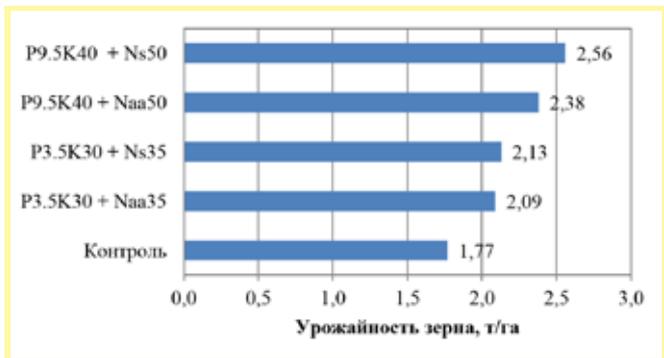
**Таблица 1.** Влияние минеральных удобрений на химический состав растений яровой пшеницы.

Вариант опыта	Зеленая масса (фаза кущения)				Зерно (полная спелость)			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S
%								
Контроль	2.61	0.27	2.10	0.11	1.56	0.64	0.37	0.31
P3.5K30 + N <sub>aa</sub> 35	3.40	0.35	3.39	0.16	1.74	0.79	0.49	0.40
P3.5K30 + N <sub>s</sub> 35	3.83	0.38	3.48	0.25	1.82	0.84	0.56	0.45
P9.5K40 + N <sub>aa</sub> 50	4.41	0.40	3.54	0.22	1.94	0.89	0.59	0.43
P9.5K40 + N <sub>s</sub> 50	4.72	0.43	3.69	0.27	2.05	0.93	0.65	0.47

Примечание: N<sub>aa</sub> – аммиачная селитра, N<sub>s</sub> – удобрение NS 30:7  
Приведены расчеты на абсолютно сухое вещество.

**Таблица 2.** Влияние минеральных удобрений на качество зерна яровой пшеницы.

Вариант опыта	Вес 1000 зерен, г	Натура, г/л	Белок, %	Клейковина, %	ИДК, ед.	Группа качества клейковины	Характеристика клейковины
Контроль	26	741	10.2	24.5	62	2	удовл.
P3.5K30 + N <sub>aa</sub> 35	31	768	11.4	33.6	66	1	хор.
P3.5K30 + N <sub>s</sub> 35	34	770	11.9	35.7	69	1	хор.
P9.5K40 + N <sub>aa</sub> 50	37	775	12.3	38.9	71	1	хор.
P9.5K40 + N <sub>s</sub> 50	39	779	12.8	41.6	72	1	хор.
HCP <sub>0,05</sub>	3	9	0.6	3.8	2		

**Рис. 1.** Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы (HCP<sub>0,05</sub> = 0.17 т/га).

подвижный фосфор (по Кирсанову) – 155 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг почвы, подвижный калий (по Кирсанову) – 118 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы, подвижная сера (в модификации ЦИНАО) – 12.3 мг S/кг почвы. Почвенные образцы отбирались и после проведения опыта для установления влияния изучаемых систем применения удобрений на агрохимические показатели почвы.

В опыте сравнивалась эффективность двух форм азотных удобрений: аммиачной селитры и NS 30:7. Удобрение NS 30:7 содержит 30% азота (18% в аммонийной и 12% в нитратной форме) и 7% серы (в сульфатной форме). Сравнительная эффективность применения указанных видов азотных удобрений в дозах 35 кг N/га изучалась на фоне внесения P3.5K30, а в дозах 50 кг N/га – на фоне P9.5K40. Дозы азота, фосфора и калия были рассчитаны на планируемую урожайность яровой пшеницы 3.0 и 3.5 т/га соответственно. Схема опыта включала пять вариантов (N<sub>aa</sub> – аммиачная селитра, N<sub>s</sub> – удобрение NS 30:7): 1) контроль (без удобрений); 2) P3.5K30 + N<sub>aa</sub>35; 3) P3.5K30 + N<sub>s</sub>35; 4) P9.5K40 + N<sub>aa</sub>50; 5) P9.5K40 + N<sub>s</sub>50. Таким образом, дозы серы составили примерно 8 кг S/га



Уборка урожая.

в вариантах 2 и 3 и 12 кг S/га – в вариантах 4 и 5. В качестве фосфорного удобрения использовался двойной суперфосфат, в качестве калийного – хлористый калий. Удобрения вносили при посеве (2 см сбоку семян). Общая площадь делянки – 50 м<sup>2</sup> (25 м × 2 м), размещение – рандомизированное. Повторность опыта – 3-х кратная. Возделывалась яровая пшеница сорта Амир. Агротехника – рекомендованная для зоны.

Определение содержания общего азота в растениях проводили по ГОСТ 13496.4-84, общего фосфора и калия – по ГОСТ 13586-68, а общей серы – весовым методом (Минеев и др., 2001).

Как показали проведенные исследования, внесение удобрения NS 30:7 способствовало повышению содержания общего азота, фосфора, калия и серы в зеленой массе растений, а также в зерне по сравнению с аммиачной селитрой, внесенной в той же дозе по азоту (табл. 1). Максимальное накопление указанных макроэлементов в зеленой массе и в зерне наблюдалось при внесении NS 30:7 в дозе 50 кг N/га на фоне P9.5K40. Таким образом, применение серосодержащего удобрения способствовало более эффективному использованию элементов питания из удобрений растениями.

В контрольном варианте опыта урожайность яровой пшеницы составила 1.77 т/га (рис. 1). Внесение изученных форм и доз удобрений способствовало росту урожайности зерна до 2.09-2.56 т/га. Прибавка урожайности при этом составила 0.32-0.79 т/га (18-45%) по сравнению с контролем. При внесении удобрения NS 30:7 и аммиачной селитры в дозе 35 кг N/га на фоне P3.5K30 прибавка урожайности к контролю была сопоставимой – соответственно 0.36 и 0.32 т/га (20 и 18%). Однако на фоне P9.5K40 удобрение NS 30:7 имело явное преимущество по сравнению с аммиачной селитрой при дозе по азоту 50 кг/га. Прибавка урожайности к контролю при этом составила соответственно 0.79 и 0.61 т/га (45 и 35%). Следует отметить, что внесение NS 30:7 в дозе 50 кг N/га на фоне P9.5K40 способствовало формированию максимальной урожайности зерна в опыте – 2.56 т/га. Таким образом, при данном уровне урожайности яровой пшеницы возникает необходимость применения серосодержащих удобрений.

Применение минеральных удобрений способствовало улучшению качества зерна яровой пшеницы – веса 1000 зерен, натуры зерна, содержания белка и клейковины в зерне, показателя ИДК (табл. 2). Удобрение NS 30:7 имело явное преимущество по сравнению с аммиачной селитрой на обоих фо-

**Таблица 3.** Влияние минеральных удобрений на агрохимические свойства серой лесной почвы.

Вариант опыта	Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	Подвижные формы		
					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S
					ммоль (экв)/100 г почвы		мг/кг почвы
Контроль	3.7	5.5	3.6	21.0	151	112	12.3
P3.5K30 + N <sub>aa</sub> 35	3.7	5.4	3.6	23.9	158	118	12.8
P3.5K30 + N <sub>s</sub> 35	3.8	5.5	3.7	23.4	157	122	15.9
P9.5K40 + N <sub>aa</sub> 50	3.8	5.4	3.8	24.9	162	128	12.6
P9.5K40 + N <sub>s</sub> 50	3.7	5.3	3.8	25.7	163	127	17.8

нах РК. Наилучшие показатели качества зерна были получены в варианте опыта с внесением NS 30:7 в дозе 50 кг N/га на фоне P9.5K40.

Применение минеральных удобрений, особенно при внесении в максимальных дозах, положительно повлияло на основные агрохимические свойства почвы – увеличилось содержание подвижных форм фосфора и калия, повысилась сумма поглощенных оснований (табл. 3). В вариантах с внесением аммиачной селитры содержание подвижной серы в почве было несколько выше, чем в контрольном варианте опыта. Содержание подвижной серы в почве в вариантах с внесением NS 30:7 было существенно выше, чем в других вариантах опыта. Максимальное содержание подвижной серы в почве – 17.8 мг S/кг почвы наблюдалось при внесении NS 30:7 в дозе 50 кг N/га, что обеспечивает поступление в почву около 12 кг S/га.

### Заключение

Таким образом, на основании первого года исследований с яровой пшеницей в Республике Татарстан можно сделать предварительный вывод о том, что новое удобрение NS 30:7 следует рекомендовать к применению на серых лесных почвах. Наиболее эффективным оказалось внесение удобрения NS 30:7 в дозе 50 кг N/га (12 кг S/га) на фоне P9.5K40. Это обеспечило максимальную урожайность и наилучшее качество зерна яровой пшеницы.

Полтораднев М.С. – агроном-консультант; e-mail: maksim.poltoradnev@uralchem.com.

Гребенникова Т.В. – руководитель департамента маркетинга и продвижения продукции ОАО «ОХК «УРАЛХИМ» (г. Москва); e-mail: tatiana.grebennikova@uralchem.com.

Хисамутдинов Н.Ш. – заведующий отделом воспроизводства почвенного плодородия и питания растений, ГНУ Татарский НИИАХП Россельхозакадемии (г. Казань).

Авторы признательны региональному директору Международного института питания растений по Югу и Востоку России В.В. Носову за помощь в подготовке статьи.

### Литература

- Авдонин Н.С. 1972. Научные основы применения удобрений. М.: Колос. 320 с.
- Вильдфлуш И.Р., Кукреш С.П., Ионас В.А., Камасин С.М., Каликинский А.А., Богдевич И.М. и Лапа В.В. 2001. Агрохимия. Минск: Ураджай. 488 с.
- Аристархов А.Н. 2007. Агрохимия серы. ВНИИА, Москва, 271 с.
- Sharma M.K., Kumar P. 2011. A guide to identifying and managing nutrient deficiencies in cereal crops. IPNI, CIMMYT. 50 p.
- Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большева Т.Н. и др. 2001. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ. 689 с.

**Приглашаем к сотрудничеству переводчиков (английский язык) для письменных переводов научно-популярных статей.**

Обязательное условие - высшее образование по специальностям: почвоведение, агрохимия, агрономия, физиология растений, или любая другая специальность в области биологии.



Присылайте Ваше резюме на [ipni-eesa@ipni.net](mailto:ipni-eesa@ipni.net).



# Улучшение хлебопекарных качеств озимой пшеницы за счет применения азотных и серосодержащих удобрений в условиях влажного климата

Томасон В.Е., Гриффей С.А. и Филлипс С.Б.

*Возделывание сортов озимой пшеницы с высоким содержанием белка, пригодных для хлебопечения, позволяет фермерам реализовывать зерно по более высокой цене. Однако у производителей зерна Североатлантического региона ощущается недостаток знаний о системе управления почвенным плодородием при возделывании данных типов сортов. В течение 9-ти опытно-лет мы проводили исследования в штате Вирджиния с тремя сортами озимой пшеницы, используемыми для хлебопечения, и установили, что внесение 34-45 кг N/га между стадиями роста 45 и 54 по Цадоксу может стабильно повышать содержание белка в зерне. С учетом положительного взаимодействия между азотом и серой для повышения содержания белка в зерне и улучшения качества белка следует принимать во внимание обеспеченность почвы доступной для растений серой и соотношение N:S в растениях.*

Суммарная емкость мельничных мощностей в Среднеатлантическом регионе США составляет около 2.9 млн. т зерна в год (World-grain.com, 2006). Большая часть зерна закупается в других зернопроизводящих регионах, поскольку для получения качественного хлеба требуется высокое содержание белка в зерне. Возделываемые в Среднеатлантическом регионе сорта мягкозерной краснозерной озимой пшеницы, как правило, имеют более низкое содержание белка по сравнению с твердозерной пшеницей, выращиваемой в других регионах страны. Пригодное для хлебопечения зерно торгуется дороже, поэтому производители пшеницы стараются подобрать наиболее адаптированные сорта, а также агротехнологии, позволяющие в условиях влажного климата Среднеатлантического региона получать зерно хорошего качества.

В других регионах страны при выращивании пшеницы, используемой для хлебопечения, было продемонстрировано повышение содержания белка в зерне с помощью поздних листовых подкормок азотом, и только недавно данный прием был опробован в зонах с более влажным климатом (Kratovichil и др., 2005). Однако повышение содержания белка в зерне не всегда улучшает его хлебопекарные качества, что связано с нарушением сбалансированности между азотом и серой.

Цель данного исследования заключалась в оценке влияния поздних листовых подкормок азотом и серой на урожайность и содержание белка в зерне хлебопекарной пшеницы, а также в определении оптимальных доз и сроков азотных подкормок в условиях влажного климата Североатлантического региона.

## Методы

Полевые опыты проводились в 2001 г. в штате Вирджиния в округе Маунт-Холли на мелкозернистом опесчаненном суглинке, типичном для данного штата (тонкосуглинистый типичный гаплудульт), а также в 2002-2003 гг. в округе Ворсоу на Кемпсвиле-



Уборка пшеницы с опытных делянок в штате Вирджиния.

ском [Kempsville] суглинке (тонкосуглинистый типичный гаплудульт) и в округе Пейнтер на Боджакском [Bojac] опесчаненном суглинке (грубосуглинистый типичный гаплудульт). Использовался метод расщепленных делянок: на делянках 1-го порядка проводилась подкормка серосодержащими удобрениями в дозе 0 и 34 кг S/га в стадию роста 30 по Цадоксу (Zadoks и др., 1974). На делянках 2-го и 3-го порядка изучались дозы и сроки поздних азотных подкормок соответственно.

В округах Пейнтер и Маунт-Холли возделывался французский сорт озимой пшеницы Соиссонс (Soissons). Это сорт полутвердозерной пшеницы со средним содержанием белка. В опытах в округе Ворсоу вместе с Соиссонсом выращивались еще два сорта – Хейне (Heine) и Ренвуд 3260 (Renwood 3260). Хейне – сорт твердозерной белозерной озимой пшеницы, а Ренвуд 3260 – мягкозерной краснозерной озимой пшеницы. Оба сорта характеризуются высоким содержанием белка.

Агротехнология возделывания озимой пшеницы в опытах включала две весенние подкормки азотом – в стадии роста 25 (45-62 кг N/га) и 30 (50-84 кг N/га). Изучалось три срока проведения поздней листовой подкормки азотом в дозах 0, 22, 34 и 45 кг N/га: стадии роста 37, 45 и 54. Для листовых подкормок использовался раствор карбамида. Расход рабочего раствора составил 421 л/га. Учет урожайности

**Таблица 1.** Влияние поздней подкормки азотом на содержание белка в зерне озимой пшеницы (%).

	Маунт-Холли 2002	Ворсоу 2002	Ворсоу 2003	Пейнтер 2002	Пейнтер 2003	Ворсоу 2002	Ворсоу 2003	Ворсоу 2002	Ворсоу 2003
	----- Соиссонс -----			----- Хейне -----			----- Ренвуд 3260 -----		
<b>Доза азота, кг/га</b>									
0	10.3	11.7	11.3	8.9	10.4	13.1	10.6	13.3	11.8
22	11.0	12.1	11.9	9.3	11.1	13.7	11.6	13.6	12.1
34	11.4	12.3	11.9	9.6	11.3	13.9	11.8	13.8	12.2
45	-	12.5	12.1	9.8	11.5	13.9	11.9	13.7	12.5
<b>Стадия роста<sup>1</sup></b>									
45	10.9	12.3	11.9	9.6	11.3	14.0	11.7	13.5	12.2
54	11.4	12.2	12.1	9.6	11.3	13.7	11.9	13.8	12.3
<b>Анализ контрастов</b>									
<b>Доза азота (линейная модель)</b>	* <sup>2</sup>	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>Стадия роста</b>	*	*	*	нз <sup>3</sup>	нз	*	*	*	*

<sup>1</sup> Zadoks и др. (1974);  
<sup>2</sup> статистически значимые различия при  $p < 0.05$ ;  
<sup>3</sup> нз – статистически незначимые различия.

проводился с использованием малогабаритного комбайна для уборки опытных делянок. В образцах зерна определялось содержание белка.

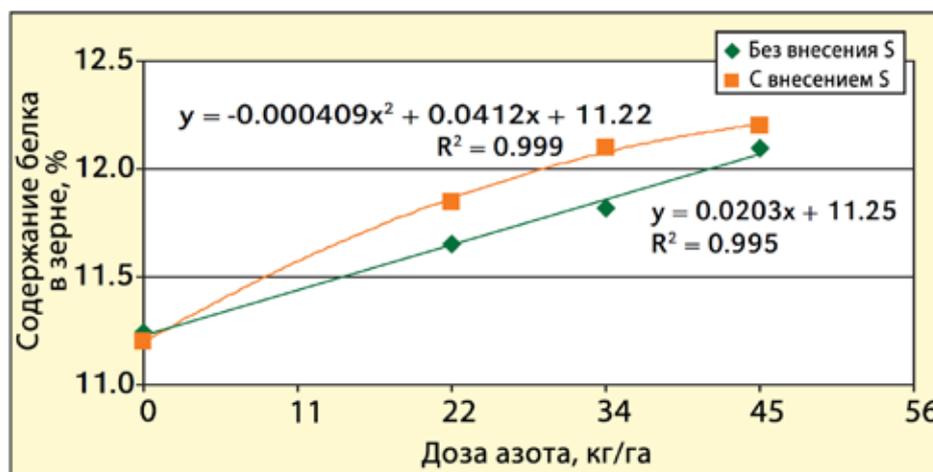
## Результаты

**Урожайность зерна.** Урожайность трех изученных сортов озимой пшеницы в опытах находилась в диапазоне 3.96-8.74 т/га. Однако устойчивой взаимосвязи между урожайностью зерна и поздними азотными подкормками выявлено не было. Отсутствие отзывчивости на поздние азотные подкормки в условиях, когда обеспеченность растений азотом не является лимитирующим урожайность фактором, согласуется с результатами, полученными Варгой и Свечняком (Varga и Svecnjak, 2006). Поздняя подкормка азотом в дозе до 45 кг N/га не снижала урожайность зерна. Таким образом, поздние азотные подкормки не оказывают отрицательного влияния на урожайность зерна и могут способствовать повышению содержания белка.

Подкормка серосодержащими удобрениями в дозе 34 кг S/га в стадию роста 30 не оказала влияния на урожайность изученных сортов озимой пшеницы ни в одном из вариантов с внесением разных доз азотных удобрений. Отсутствие отзывчивости на внесение серы объясняется достаточным содержанием серы в растениях во всех опытах. При подкормке серосодержащими удобрениями соотношение N:S в растениях в целом не изменялось, что

согласуется с результатами, опубликованными другими исследователями.

**Содержание белка в зерне.** В среднем за изученное количество опыто-лет содержание белка у сорта Соиссонс достоверно не изменялось при внесении 34 кг S/га в стадию роста 30, если поздняя подкормка азотом не проводилась. Однако содержание белка в зерне повышалось в среднем на 0.2% при проведении поздних подкормок азотом на фоне внесения серы по сравнению с вариантами, где поздние подкормки азотом проводились без внесения серы (рис. 1). При низких дозах поздней азотной подкормки (22 и 34 кг/га) внесение серы оказывало большее влияние на содержание белка в зерне, исходя из криволинейного характера зависимости между содержанием белка и дозами азотной подкормки на фоне внесения серы. Когда сера не вносилась, поздние подкорм-



**Рис. 1.** Влияние поздней подкормки азотом на фоне применения и без применения серосодержащих удобрений (в стадию роста 30 по Цадоксу) на среднее содержание белка у сорта озимой пшеницы Соиссонс. Округа Маунт-Холли, Ворсоу и Пейнтер, штат Вирджиния, 2001-2003 гг.

ки азотом повышали содержание белка в зерне, но в меньшей степени, чем на фоне с внесением серы. Наши результаты согласуются с данными Хокинга (Hocking, 1994), который указывал, что у яровой пшеницы реутилизация серы из листьев и стеблей в зерно протекает значительно менее интенсивно, чем реутилизация азота. Следовательно, необходимо постоянное поступление серы в растения. Данные, полученные Краточвилем с соавт. (Kratochvil и др., 2005), также свидетельствуют о том, что поздние подкормки азотом (в стадии роста 37-50) необходимы для максимального накопления белка в зерне.

Достоверное повышение содержания белка в зерне озимой пшеницы с ростом доз поздней азотной подкормки (линейные зависимости) характерно для всех опыто-лет (табл. 1). Аналогичные результаты были получены и в предыдущих исследованиях, проведенных в Североатлантическом регионе с твердозерной краснозерной озимой пшеницей (Kratochvil и др., 2005). В среднем за 5 опыто-лет содержание белка у сорта Соиссонс составило 10.5, 11.1, 11.3 и 11.5% в вариантах с поздней подкормкой азотом в дозе 0, 22, 34 и 45 кг N/га соответственно (табл. 1). В округе Ворсоу в 2002-2003 гг. поздняя подкормка азотом в дозе 45 кг N/га способствовала повышению содержания белка у сорта Хейне на 0.75-1.38%, у сорта Соиссонс – на 0.83-0.85% и у сорта Ренвуд 3260 – на 0.43-0.70% относительно контрольного варианта. Вышеуказанные диапазоны свидетельствуют о том, что генетический потенциал изученных сортов и присущий им элементный состав – это основные факторы, определяющие величину и биологическую значимость возможного влияния системы управления почвенным плодородием на качество зерна и хлебопекарные свойства муки. В 5-ти из 9-ти наблюдений максимальное содержание белка в зерне было получено при проведении поздней подкормки азотом в стадию роста 54 (табл. 1).

## Выводы

У 3-х изученных сортов озимой пшеницы не наблюдалось стабильного повышения урожайности зерна при проведении поздней подкормки азотом в



Определение содержания белка в образцах зерна.

дозе до 45 кг N/га, но и снижения урожайности при этом также не происходило. Подкормка серосодержащими удобрениями в дозе 34 кг S/га в стадию роста 30 также не оказывала влияния на урожайность зерна. Однако у всех изученных сортов озимой пшеницы наблюдалось стабильное повышение содержания белка в зерне в результате проведения поздней подкормки азотом в дозе 34-45 кг N/га. У сорта Соиссонс в опытах, проведенных в округах Маунт-Холли и Пейнтер, выявлено достоверное повышение содержания белка в зерне при поздней подкормке азотом на фоне внесения серы по сравнению с вариантами, где подкормка серой не предшествовала подкормке азотом. Содержание белка в зерне в целом не зависело от сроков проведения поздней подкормки азотом (стадия роста 45 по сравнению со стадией 54), что расширяет временной интервал для выполнения данного агротехнического приема.

В заключение следует отметить, что при возделывании изученных сортов озимой пшеницы (используемых для хлебопечения) в условиях влажного климата – в регионах с большим количеством осадков подкормка азотом в дозе от 34 до 45 кг N/га между стадиями роста 45 и 54 может стабильно повышать содержание белка в зерне. С учетом положительного взаимодействия между азотом и серой для повышения содержания белка в зерне и улучшения качества белка следует принимать во внимание обеспеченность почвы доступной для растений серой и соотношение N:S в растениях.

*Д-р Томасон – ассистент-профессор и специалист-консультант по зерновым культурам, кафедра растениеводства и экологического почвоведения, Технический университет штата Вирджиния (Virginia Tech), e-mail: wthomaso@vt.edu.*

*Д-р Гриффей – профессор (генетика и селекция зерновых колосовых культур), кафедра растениеводства и экологического почвоведения, Технический университет штата Вирджиния.*

*Д-р Филлипс – Региональный директор МИПР по Юго-Востоку Северной Америки.*

## Литература

- Hocking, P.J. 1994. *J. Plant Nutr.* 17:1289-1308.  
Kratochvil, R.J., et al. 2005. *Agron. J.* 97:257-264.  
Varga, B. and Z. Svecnjak. 2006. *Field Crops Res.* 96:125-132.  
World-grain.com. 2006. Available at <http://www.world-grain.com/Industry-Data/industry.asp>.  
Zadoks, J.C., et al. 1974. *Weed. Res.* 14:415-421.

*Дополнительная информация по данным исследованиям: Thomason W.E. и др., 2007. Cereal Chem., 84 (5): 450-462.*

*Перевод и адаптация: В.В. Носов*

# Итоги конкурса научных работ студентов и аспирантов-2014

Международный институт питания растений ежегодно проводит конкурс научных работ студентов и аспирантов в области питания растений в основных сельскохозяйственных регионах мира. В Восточной Европе и Центральной Азии конкурс проводится в России, Украине и Казахстане.



## Александра Ореховская

В 2011 г. Александра Ореховская окончила Белгородскую государственную сельскохозяйственную академию им. В.Я. Горина по специальности «Агроэкология». В ноябре того же года была зачислена в аспирантуру Белгородской ГСХА по направлению «Агрохимия». Тема ее научной работы – «Азотный режим чернозема типичного и продуктивность озимой пшеницы в зависимости от агротехнических приемов». Александра – автор и соавтор нескольких научных статей, победитель Международных студенческих научно-практических конференций 2006, 2008, 2009 и 2010 гг., а также Конкурса по защите растений и биотехнологиям «BayStudy-2012». Обучаясь в аспирантуре, Александра принимает участие в изучении влияния способов основной обработки почвы и применения удобрений на плодородие почвы на базе длительного стационарного опыта Белгородского НИИСХ. Ее основная цель – защитить кандидатскую диссертацию и продолжить самостоятельные исследования в выбранных областях сельскохозяйственной науки.



## Алина Ревтье

Алина Ревтье закончила Харьковский национальный аграрный университет, и в настоящее время обучается в аспирантуре Института почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского (г. Харьков, Украина) по специальности «Агрочвоведение и агрофизика». Тема ее кандидатской диссертации – «Почвенно-экологические аспекты применения безводного аммиака в земледелии». Согласно полученным результатам, внесение безводного аммиака не только повышает урожайность, но и имеет ряд экономико-технологических преимуществ по сравнению с твердыми азотными удобрениями. Исследование Алины направлено на изучение влияния безводного аммиака на физико-химические свойства почвы, а также на экологические показатели. Результат работы – разработка нормативно-технологического регламента применения данного вида азотных удобрений. После защиты диссертации Алина планирует продолжить исследовательскую и преподавательскую деятельность.

Алина – автор и соавтор 16-ти публикаций в различных научных журналах и сборниках.



## Гульназ Юсупова

Гульназ Юсупова обучается в магистратуре Башкирского государственного аграрного университета. Тема ее магистерской диссертации – «Агроэкологическая эффективность применения различных систем удобрения ярового рапса в условиях южной лесостепи Республики Башкортостан». Цель данной работы заключалась в экспериментальной проверке возможности получения запланированного урожая семян ярового рапса хорошего качества (2.0-2.5 т/га при содержании сырого протеина не менее 19%) на выщелоченных черноземах при использовании различных систем применения удобрений. Была также проведена агроэкологическая оценка изученных систем применения удобрений. Гульназ планирует обучаться в аспирантуре Башкирского ГАУ и продолжать исследования по выбранной теме, а также вести преподавательскую деятельность.

Гульназ – автор и соавтор 5-ти публикаций в различных научных изданиях.

# Обзор научных публикаций **BETTER CROPS** with plant food, № 3, 2013



Ежеквартальный журнал  
Международного института питания растений  
(онлайн в свободном доступе <http://www.ipni.net/bettercrops>)

## **Повышение экономической эффективности применения минеральных удобрений в низко-рентабельных фермерских хозяйствах**

*К.К. Кауиззи, Ч.С. Вортманн и Д.А. Джанзен*

В фермерских хозяйствах с ограниченными финансовыми возможностями зачастую наблюдается низкая экономическая эффективность применения минеральных удобрений по сравнению с окупаемостью других затрат. Экономическая отдача от применения минеральных удобрений зависит от возделываемой сельскохозяйственной культуры, вида удобрений, доз внесения, а также соотношения между ценами на удобрения и на сельскохозяйственную продукцию. Исходя из полученных в Уганде зависимостей между урожайностью отдельных сельскохозяйственных культур и дозами азота, фосфора и калия (в общей сложности – 15 зависимостей), была разработана специальная программа, позволяющая просчитать наиболее экономически выгодные сценарии применения минеральных удобрений с учетом их рентабельности. Данный подход может использоваться мелкими фермерскими хозяйствами с ограниченными финансовыми возможностями повсеместно при наличии кривых отзывчивости сельскохозяйственных культур на внесение отдельных элементов питания.

## **Отзывчивость картофеля на фосфорные удобрения с покрытием полимером на основе дикарбоновых кислот**

*Д.С. Старк и Б.Г. Хопкинс*

На некоторых типах почв со щелочной реакцией среды из-за низкой растворимости фосфатов трудно добиться повышения эффективности использования фосфора из удобрений растениями. Покрытие фосфорных удобрений полимером на основе дикарбоновых кислот повышало поглощение фосфора растениями картофеля и, соответственно, эффективность использования фосфора из удобрений. Это способствовало росту урожайности клубней. В течение 5-ти лет на карбонатных почвах с содержанием подвижных форм фосфора от низкого до среднего проводились исследования, которые включали 9 полевых опытов. В данных опытах

изучалась отзывчивость картофеля на применение жидких и твердых фосфорных удобрений с добавлением и без добавления полимера. При изученных комбинациях доз, форм и сроков внесения фосфорных удобрений в 7-ми из 9-ти опытов наблюдалось повышение товарной урожайности клубней за счет использования полимера.

## **Совершенствование разбросного способа внесения удобрений**

*Д. Фултон, Т. Макдональд, К.В. Вуд, О. Фасина и С. Вирк*

Результаты исследований, проведенных в Обернском университете (США), позволяют предположить, что постоянное увеличение емкости бункера у центробежных разбрасывателей с целью повышения производительности полевых операций повышает риск возникновения хорошо известных проблем, связанных с неравномерным распределением стандартных тукосмесей на основе гранулированных удобрений. Разработаны рекомендации, позволяющие устранять подобные проблемы и получать оптимальные результаты при использовании данного широко распространенного способа внесения удобрений.

## **Мировые ресурсы фосфатного сырья: настоящее и будущее**

*С.Д. ван Каувенберг, М. Стюарт и Р. Миккелсен*

Фосфор – жизненно необходимый элемент. Применение фосфорных удобрений очень важно для производства растениеводческой продукции, включая корма для животных, а также растительные волокна и биотопливо, в объемах, достаточных для обеспечения потребностей растущего населения Земли. Основным сырьем при производстве фосфорных удобрений служат фосфатные руды – невозобновляемый природный ресурс. В последнее десятилетие выросла озабоченность тем, что мировые ресурсы фосфатных руд близки к истощению и что мир скоро столкнется с проблемой нехватки фосфорных удобрений. Однако проведенная недавно подробная оценка мировых ресурсов фосфатного сырья показала, что их истощение в обозримом будущем не предвидится.

Соответственно, не предвидится и дефицита фосфорных удобрений.

### **Повышение качества плодов нектарина за счет оптимизации минерального питания растений**

*Р.С. Джонсон, А. Оливос, Ц. Ксяоцайонг, К. Крисосто и Т. Мичилайдес*

Успешное возделывание косточковых плодовых культур подразумевает получение высокого урожая и хорошего качества плодов. При недостатке элементов питания у растений усиливается поражение плодов бурой гнилью в период хранения. Избыточное внесение азотных удобрений стимулирует рост вегетативной массы, задерживает созревание плодов, а также повышает поражение плодов бурой гнилью.

### **Эффективность разных приемов внесения цинка под озимую тритикале в Западной Сибири**

*И.А. Бобренко, Н.В. Гоман и Е.Ю. Павлова*

В полевых опытах, проведенных на лугово-чернозёмной почве с низким содержанием подвижного цинка, установлено, что растения озимой тритикале положительно отзываются на применение цинковых удобрений. При применении цинковых удобрений наблюдалось как повышение урожай-

ности, так и улучшение качества зерна. Внесение цинка в почву в целом было более эффективным способом повышения урожайности озимой тритикале по сравнению с опудриванием семян. Оптимальная доза цинка при внесении в почву составила 8 кг Zn/га, а при опудривании семян – 100 г ZnSO<sub>4</sub>/ц семян.

### **Отзывчивость картофеля на применение минеральных удобрений и эффективность использования элементов питания из удобрений в регионе Внутренняя Монголия**

*Ю. Дуань, Д. Туо, П. Цяо, Х. Ли и Ш. Ли*

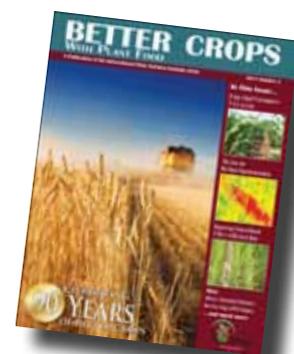
Несбалансированное минеральное питание и недостаток влаги – лимитирующие факторы при возделывании картофеля в регионе Внутренняя Монголия (КНР). Результаты полевых опытов свидетельствуют о том, что сбалансированное применение минеральных удобрений способствует достоверному повышению урожайности клубней как в богарных условиях, так и при орошении. Поглощение N, P и K растениями резко возрастало спустя 25-57 дней после появления всходов и в богарных условиях, и при орошении. Экономическая отдача от применения минеральных удобрений была выше при выращивании картофеля в условиях орошения по сравнению с богарой.

## **BETTER CROPS with plant food, № 4, 2013**

### **Совершенствование системы применения азотных удобрений под кукурузу с помощью модели «Адапт-Н», учитывающей погодные условия**

*Б. Мебиус-Клуне, Х. ван Эс и Д. Мелкоциан*

Система применения азотных удобрений под кукурузу должна ежегодно корректироваться с учетом погодных условий вегетационного сезона. Модель «Адапт-Н» (Adapt-N), состоящая из почвенного и растительного блоков, позволяет спрогнозировать потребность растений в азоте, поступление азота из почвы и его потери в зависимости от погодных условий. Полевые опыты, проведенные на полях фермеров в штатах Нью-Йорк и Айова (США) для верификации модели, подтвердили, что ее использование позволяет оптимизировать дозы и сроки внесения азотных удобрений. Это повышает экономическую отдачу от применения азотных удобрений, а также снижает негативное влияние на окружающую среду.



### **Разработка научных основ и рекомендаций по применению минеральных удобрений под пшеницу в Китае**

*Л. Чуань, П. Хи, М.Ф. Памполино, А.М. Джонстон, Ц. Цзинь, Х. Ху, Ш. Цяо, Ш. Циу и В. Цзю*

При возделывании пшеницы в Китае повсеместно наблюдается нерациональное применение минеральных удобрений. Несбалансированное внесение минеральных удобрений ведет к их неэффективному использованию. Кроме того, при этом происходят потери элементов питания из почвы, что отрицательно сказывается на состоянии окружающей среды. В данной статье описывается и обосновывается новый подход к разработке рекомендаций по применению минеральных удобрений под пшеницу в Китае, исходя из отзывчивости растений – агро-

номической эффективности применения минеральных удобрений (окупаемости удобрений прибавкой урожая). При разработке указанного подхода использовались результаты полевых опытов, проведенных в 2000-2011 гг.

## **Кремний – необходимый элемент**

*Д. Хекман*

Кремний (Si) официально признан Ассоциацией по контролю за удобрениями США (Association of American Plant Food Control Officials) «необходимым элементом» для питания растений. Содержание кремния в доступной для растений форме теперь может указываться при маркировке минеральных удобрений.

## **Проведение полевых опытов на полях фермеров**

*С. Кук, Д. Кок, Т. Обертюр и М. Фишер*

Авторы обсуждают различия между опытами, проводимыми фермерами, и стандартными полевыми исследованиями и предлагают пути интегрирования получаемых фермерами результатов в систему научных знаний с целью совершенствования системы управления почвенным плодородием. Делается акцент на исследовательской компетентности фермеров, сформированной исходя из их личного опыта (то есть при проведении исследований на своих полях), а также на «операционных исследованиях». «Операционные исследования» подразумевают анализ эффективности отдельных технологических операций с целью их совершенствования, и, таким образом, способствуют совершенствованию агротехнологий выращивания сельскохозяйственных культур в целом.

## **Система применения удобрений на плантациях маслины: новые подходы для Северной Африки**

*Х. Боулал, Л. Сикаоуи и М. эль-Гароус*

Стремление стран Северной Африки расширить производство оливок способствовало сильному росту площадей, занятых плантациями маслины как на богаре, так при орошении. В данном обобщении обсуждаются рациональные системы применения удобрений при выращивании маслины и излагаются основные принципы, на которых должны базироваться дальнейшие исследования для обеспечения устойчивого развития сектора.

## **Эффективность применения хлористого калия под рис, хлопчатник и картофель в орошаемой зоне Казахстана**

*А. Сапаров, Р. Елешев, Б. Сулейменов, Г. Песковский и А. Щербаков*

В течение последних 20-ти лет в земледелии Казахстана наблюдается сильный дефицит всех элементов питания растений, а особенно калия. Результаты полевых опытов свидетельствуют о высокой отзывчивости картофеля и риса на внесение хлористого калия в почву. Отзывчивость хлопчатника на внесение хлористого калия была ниже.

## **Использование оптических сенсоров: совершенствование рекомендаций по применению азотных удобрений с учетом локальных данных**

*О. Уоли, Р. Кристианс и А. Пандей*

Технологии, основанные на использовании оптических сенсоров, помогают проводить диагностику азотного питания растений с учетом пространственно-временного варьирования обеспеченности растений азотом. Это позволяет определить дозу азота в каждом конкретном почвенно-климатических условиях. Проведенные в штате Монтана (США) исследования показали, что алгоритмы расчета доз азотных удобрений, разработанные в других регионах, требуют уточнения. Для этого должны использоваться данные, полученные в штате Монтана.

## **Повышение продуктивности и рентабельности кукурузно-пшеничных севооборотов в штате Джаркханд**

*Р. Кумар, С. Кармакар, С. Кумари, А.К. Саркар, С.К. Датта и К. Маджумдар*

Полевые опыты проводились в севообороте кукуруза – пшеница на сравнительно малоплодородных красноземах и латеритных почвах. Благодаря системе применения минеральных удобрений, разработанной с учетом местных почвенно-климатических условий, удалось достичь запланированных уровней урожайности зерна – 5.0 и 4.0 т/га для кукурузы и пшеницы соответственно. Проведенные исследования свидетельствуют о возможности повышения урожайности на изученных почвах в два раза.

## Компании - члены IPNI

	Agrium Inc.		Shell Sulphur Solutions
	Arab Potash Company		Simplot
	Белорусская калийная компания		Sinofert Holdings Limited
	BHP Billiton		SQM
	CF Industries Holdings, Inc.		Toros Tarim
	Compass Minerals Speciality Fertilizers		Toros Tarim
	International Raw Materials LTD		ОАО «ОХК «Уралхим»
	Intrepid Potash, Inc.		ОАО «Уралкалий»
	K+S KALI GmbH		Arab Fertilizer Association (AFA)
	The Mosaic Company		Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)
	OCP S.A.		Canadian Fertilizer Institute (CFI)
	ОАО «ФосАгро»		Fertiliser Association of India (FAI)
	PotashCorp		The Fertilizer Institute (TFI)
	Qatar Fertilizer Company		International Fertilizer Association (IFA)
			International Potash Institute (IPI)



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*